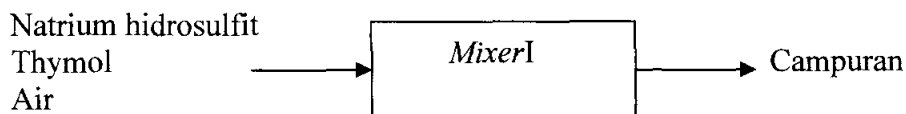


APPENDIX A**PERHITUNGAN NERACA MASSA****A.1 Mixer I (M-111)**

Jumlah Natrium hidrosulfit yang dimasukkan adalah 0,7% dari jumlah getah pepaya ^[6].

Jumlah Thymol yang dimasukkan adalah 0,2% dari jumlah getah pepaya ^[6].

Getah Pepaya yang dipakai sebanyak 30 kg.

Jumlah air yang ditambahkan adalah sebesar 34,15 kg bila digunakan getah pepaya sebanyak 50 kg ^[10].

Bahan masuk mixer I

Natrium hidrosulfit (NaHSO_3) = $0,7\% \times 30 \text{ kg} = 0,21 \text{ kg}$

Thymol ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$) = $0,2\% \times 30 \text{ kg} = 0,06 \text{ kg}$

Air (H_2O) = $\frac{30}{50} \times 34,15 = 20,49 \text{ kg}$

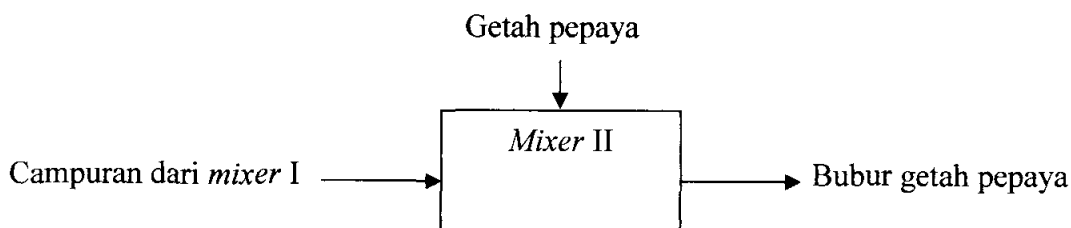
Bahan keluar mixer I

Campuran :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,21 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,06 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 20,49 \text{ kg}$

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Bahan masuk <i>mixer I</i> :		Campuran ke <i>mixer II</i> :	
- Natrium hidrosulfid :		- NaHSO ₃	0,21
(NaHSO ₃) = 0,21	0,21	- C ₁₀ H ₁₄ O	0,06
- Thymol :		- H ₂ O	20,49
(C ₁₀ H ₁₄ O) = 0,06	0,06		
- Air :			
(H ₂ O) = 20,49	20,49		
Total	20,76	Total	20,76

A.2 *Mixer II* (M-110)



Jumlah kotoran (pasir dan serangga) yang terdapat pada getah pepaya adalah 1-5% dari massa getah pepaya ^[10].

Ditetapkan jumlah kotoran (pasir dan serangga) sebesar 5%.

Pada *Mixer II* ini, semua bahan hanya bercampur saja tak ada reaksi.

Komposisi getah pepaya : papain (10%), khimopapain (45%), lizozim (25%), H₂O (20%) ^[6].

Bahan masuk *mixer II*

Campuran dari *mixer I* :

- NaHSO₃ = 0,21 kg
- C₁₀H₁₄O = 0,06 kg
- H₂O = 20,49 kg

Getah pepaya :

- papain = $10\% \times 30 \text{ kg} = 3 \text{ kg}$
- khimopapain = $45\% \times 30 \text{ kg} = 13,5 \text{ kg}$
- lizozim = $25\% \times 30 \text{ kg} = 7,5 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 20\% \times 30 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$
- kotoran = $5\% \times 30 \text{ kg} = 1,5 \text{ kg}$

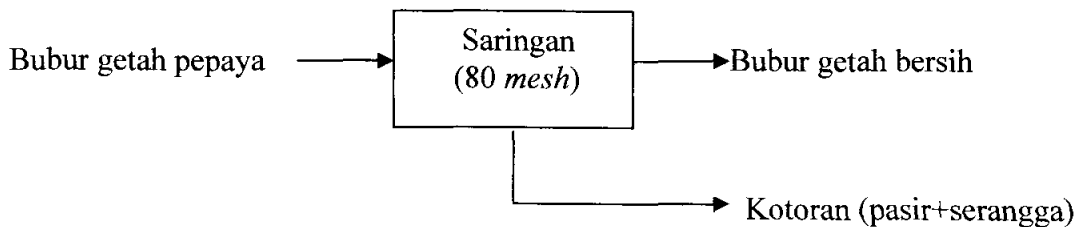
Bahan keluar mixer II

Bubur getah pepaya :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,21 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,06 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 20,49 \text{ kg} + 6 \text{ kg} = 26,49 \text{ kg}$
- papain = 3 kg
- khimopapain = $13,5 \text{ kg}$
- lizozim = $7,5 \text{ kg}$
- kotoran = $1,5 \text{ kg}$

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Dari Mixer I :		Bubur getah pepaya menuju Saringan :	
- NaHSO_3	0,21	- NaHSO_3	0,21
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,06	- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,06
- H_2O	20,49	- H_2O	26,49
Getah Pepaya :		- papain	3
- papain	3	- khimopapain	13,5
- khimopapain	13,5	- lizozim	7,5
- lizozim	7,5	- kotoran	1,5
- H_2O	6		
- kotoran	1,5		
Total	52,26	Total	52,26

A.3 Saringan (S-210)



Asumsi : seluruh kotoran (pasir + serangga) tertahan di Saringan

Bahan masuk Saringan

Bubur getah pepaya :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,21 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,06 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 26,49 \text{ kg}$
- papain = 3 kg
- khimopapain = 13,5 kg
- lizozim = 7,5 kg
- kotoran = 1,5 kg

Bahan keluar Saringan

Bubur getah bersih :

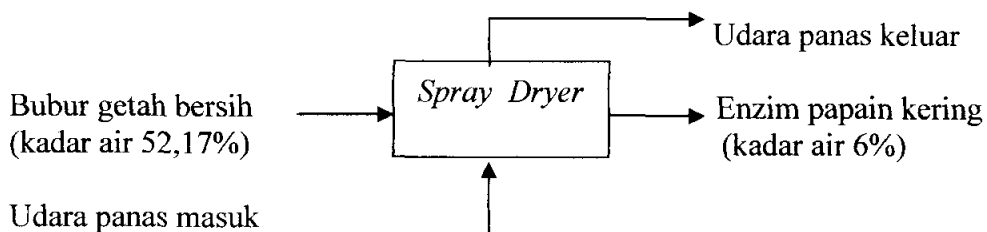
- $\text{NaHSO}_3 = 0,21 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,06 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 26,49 \text{ kg}$
- papain = 3 kg

- khimopapain = 13,5 kg
- lizozim = 7,5 kg

Kotoran = 1,5 kg

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Bubur getah pepaya menuju Saringan :		Bubur getah bersih :	
- NaHSO ₃	0,21	- NaHSO ₃	0,21
- C ₁₀ H ₁₄ O	0,06	- C ₁₀ H ₁₄ O	0,06
- H ₂ O	26,49	- H ₂ O	26,49
- papain	3	- papain	3
- khimopapain	13,5	- khimopapain	13,5
- lizozim	7,5	- lizozim	7,5
- kotoran	1,5	Kotoran	1,5
Total	52,26	Total	52,26

A.4 *Spray Dryer* (DE-310)



Tepung papain bersih memiliki kadar air 1-6% ^[10].

Oleh karena itu, enzim papain basah dengan kadar air 52,17% harus dikeringkan sampai kadar airnya hanya 6%.

Bubur getah bersih :

- NaHSO₃ = 0,21 kg
- C₁₀H₁₄O = 0,06 kg
- H₂O = 26,49 kg
- papain = 3 kg

- khimopapain = 13,5 kg
- lizozim = 7,5 kg

Massa total bubur getah bersih = 50,76 kg

Padatan dalam bubur getah bersih = $(3+13,5+7,5)$ kg = 24 kg

Cairan dalam bubur getah bersih = $(0,21+0,06+26,49)$ kg = 26,76 kg

Efisiensi (η) *spray dryer* untuk *slurry* sebesar 99% ^[37]

Papain dalam enzim papain kering = $99\% \times 3$ kg = 2,97 kg

Khimopapain dalam enzim papain kering = $99\% \times 13,5$ kg = 13,365 kg

Lizozim dalam enzim papain kering = $99\% \times 7,5$ kg = 7,425 kg

Padatan dalam enzim papain kering = $(2,97+13,365+7,425)$ kg = 23,76 kg

Cairan dalam enzim papain kering = $\frac{6}{94} \times 23,76$ kg = 1,5166 kg

Air dalam enzim papain kering = $(26,49/26,76) \times 1,5166$ kg = 1,5013 kg

NaHSO₃ dalam enzim papain kering = $(0,21/26,76) \times 1,5166$ kg = 0,0119 kg

Thymol dalam enzim papain kering = $(0,06/26,76) \times 1,5166$ kg = 0,0034 kg

Papain terikut dalam udara panas = $(3 - 2,97)$ kg = 0,03 kg

Khimopapain terikut dalam udara panas = $(13,5 - 13,365)$ kg = 0,135 kg

Lizozim terikut dalam udara panas = $(7,5 - 7,425)$ kg = 0,075 kg

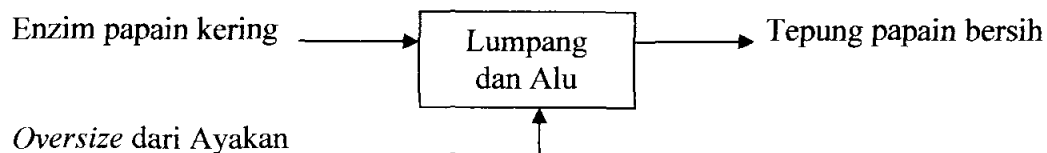
Air yang menguap = $(26,49 - 1,5013)$ kg = 24,9887 kg

NaHSO₃ terikut dalam udara panas = $(0,21 - 0,0119)$ kg = 0,1981 kg

Thymol terikut dalam udara panas = $(0,06 - 0,0034)$ kg = 0,0566 kg

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Enzim papain basah :		Enzim papain kering :	
- NaHSO ₃	0,21	- NaHSO ₃	0,0119
- C ₁₀ H ₁₄ O	0,06	- C ₁₀ H ₁₄ O	0,0034
- H ₂ O	26,49	- H ₂ O	1,5013
- papain	3	- papain	2,97
- khimopapain	13,5	- khimopapain	13,365
- lizozim	7,5	- lizozim	7,425
Udara panas masuk :	172,2344	Udara panas keluar :	172,2344
		Bahan yang terikut :	
		- H ₂ O	24,9887
		- NaHSO ₃	0,1981
		- C ₁₀ H ₁₄ O	0,0566
		- papain	0,03
		- khimopapain	0,135
		- lizozim	0,075
Total	222,9944	Total	222,9944

A.5 Lumpang dan Alu (SR-320)



Bahan masuk lumpang dan alu

Enzim papain kering :

- NaHSO₃ = 0,0119 kg
- C₁₀H₁₄O = 0,0034 kg
- H₂O = 1,5013 kg
- papain = 2,97 kg
- khimopapain = 13,365 kg
- lizozim = 7,425 kg

Oversize dari Ayakan :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,0024 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,0007 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 0,3003 \text{ kg}$
- papain = 0,5940 kg
- khimopapain = 2,673 kg
- lizozim = 1,485 kg

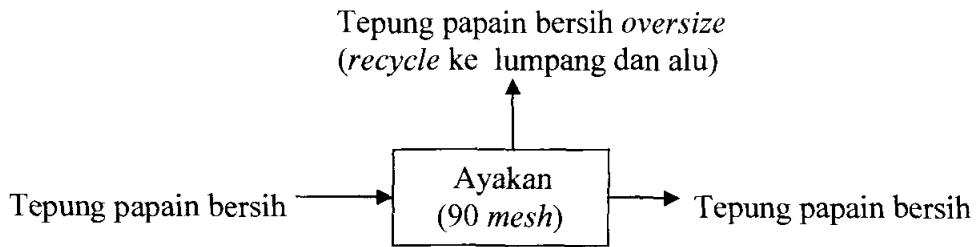
Bahan keluar lumpang dan alu

Tepung papain bersih :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,0119 + 0,0024 = 0,0143 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,0034 + 0,0007 = 0,0041 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 1,5013 + 0,3003 = 1,8016 \text{ kg}$
- papain = $2,97 + 0,594 = 3,564 \text{ kg}$
- khimopapain = $13,365 + 2,673 = 16,038 \text{ kg}$
- lizozim = $7,425 + 1,485 = 8,91 \text{ kg}$

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Enzim papain kering :		Tepung papain bersih :	
- NaHSO_3	0,0119	- NaHSO_3	0,0143
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0034	- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0041
- H_2O	1,5013	- H_2O	1,8016
- papain	2,97	- papain	3,564
- khimopapain	13,365	- khimopapain	16,038
- lizozim	7,425	- lizozim	8,91
<i>Oversize</i> dari Ayakan :			
- NaHSO_3	0,0024		
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0007		
- H_2O	0,3003		
- papain	0,594		
- khimopapain	2,673		
- lizozim	1,485		
Total	30,3319	Total	30,3319

A.6 Ayakan (S-321)



Asumsi : tepung papain bersih yang *oversize* sebesar 20%

Bahan masuk Ayakan

Tepung papain bersih :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,0143 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,0041 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 1,8016 \text{ kg}$
- papain = 3,564 kg
- khimopapain = 16,038 kg
- lizozim = 8,91 kg

Bahan keluar Ayakan

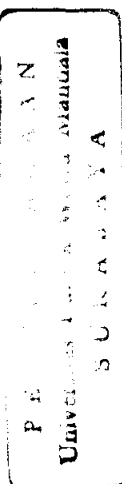
Tepung papain bersih :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,0119 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,0034 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 1,5013 \text{ kg}$
- papain = 2,97 kg
- khimopapain = 13,365 kg
- lizozim = 7,425 kg

Tepung papain bersih *oversize* (20% dari tepung papain bersih masuk lumpang dan alu) :

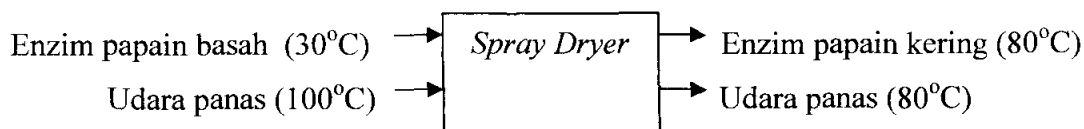
- $\text{NaHSO}_3 = 0,0024 \text{ kg}$
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,0007 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O} = 0,3003 \text{ kg}$
- papain = 0,5940 kg
- khimopapain = 2,673 kg
- lizozim = 1,485 kg

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Tepung papain bersih :		Tepung papain bersih :	
- NaHSO_3	0,0143	- NaHSO_3	0,0119
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0041	- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0034
- H_2O	1,8016	- H_2O	1,5013
- papain	3,564	- papain	2,97
- khimopapain	16,038	- khimopapain	13,365
- lizozim	8,91	- lizozim	7,425
		Tepung papain bersih <i>oversize</i> :	
		- NaHSO_3	0,0024
		- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0007
		- H_2O	0,3003
		- papain	0,594
		- khimopapain	2,673
		- lizozim	1,485
Total	30,3319	Total	30,3319



APPENDIX B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

B.1 *Spray Dryer* (DE-310)

Asumsi : $Q_{loss} = 0,05 \times \Delta H$ udara masuk (karena panas yang disuplai dari udara panas masuk jauh lebih besar dari panas yang dimiliki bahan masuk).

Udara yang masuk dari *burner* memiliki *humidity* 0,02125 kg H₂O/ kg udara kering (didapat dari utilitas unit penyediaan udara panas).

Udara masuk terdiri dari udara kering (x) dan H₂O (y)

$$y = 0,02125x = 0,02125 \cdot 172,2344 = 3,3764 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\% \text{ H}_2\text{O} = \frac{3,3764}{172,2344 + 3,3764} \times 100\% = 2\%$$

Karena persentase H₂O dalam udara panas masuk sangat kecil (2%), maka dapat diasumsi bahwa udara panas masuk *spray dryer* adalah udara kering.

Mencari Cp udara rata-rata pada 30°C hingga 100°C

Karena udara panas yang masuk diasumsi udara kering sehingga data dari Appendix A.3-3^[3] untuk udara kering dapat dipakai:

T, °C	Cp, kJ/kg.°C
30	1,0048
40	1,0051
50	1,0066
60	1,0082
70	1,009
80	1,009
90	1,009
100	1,01

Cp rata-rata dihitung dengan metode trapezoidal^[38].

$$\begin{aligned}
 C_{p\text{udara rata-rata}} &= \frac{\frac{\Delta T}{2}(1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009 + 1,009 + 1,009) + 1,01)}{T_2 - T_1} \\
 &= \frac{\frac{10}{2}(1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009 + 1,009 + 1,009) + 1,01)}{100 - 30} \\
 &= 1,0078 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Mencari Cp udara rata-rata pada 30°C hingga 80°C

$$\begin{aligned}
 C_{p\text{udara rata-rata}} &= \frac{\frac{\Delta T}{2}(1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009) + 1,009)}{T_2 - T_1} \\
 &= \frac{\frac{10}{2}(1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009) + 1,009)}{80 - 30} \\
 &= 1,0072 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Enthalpi bahan masuk *spray dryer* (pada suhu 30°C)

Enzim papain basah :

- Massa $\text{NaHSO}_3 = 0,21 \text{ kg} = 0,002 \text{ kmol}$

$$T_{\text{ref}} = 288^\circ\text{K}$$

Untuk NaHSO_3 diperoleh nilai a, b, c, d sebesar ^[39]:

$$a = 121 \quad b = 0 \quad c = 0 \quad d = 0$$

$$C_{p^*} \text{NaHSO}_3 = a \times (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \times (T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3} (T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4} (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 121 \times (303 - 288) + 0 + 0 + 0 = 1815 \text{ kJ/kmol}$$

$$\text{Enthalpi } \text{NaHSO}_3 = 0,002 \text{ kmol} \times 1815 \text{ kJ/kmol}$$

$$= 3,6649 \text{ kJ}$$

- Massa $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,06 \text{ kg} = 0,0004 \text{ kmol}$

$$T_{\text{ref}} = 0^\circ\text{C}$$

Untuk $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$ diperoleh nilai a, b, c, d sebesar ^[39]:

$$a = 139,2 \quad b = 53,76 \times 10^{-2} \quad c = -39,79 \times 10^{-5} \quad d = 120,5 \times 10^{-9}$$

$$C_p^* C_{10}H_{14}O = a \times (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \times (T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3} (T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4} (T_2^4 - T_1^4)$$

$$139,2 \times (30 - 0) + \frac{53,76 \times 10^{-2}}{2} \times (30^2 - 0^2) + \frac{-39,79 \times 10^{-5}}{3} \times (30^3 - 0^3) + \frac{120,5 \times 10^{-9}}{4} \times (30^4 - 0^4)$$

$$= 4414,363 \text{ kJ/kmol}$$

$$\text{Enthalpi } C_{10}H_{14}O = 0,0004 \text{ kmol} \times 4414,363 \text{ kJ/kmol}$$

$$= 1,7657 \text{ kJ}$$

- Massa $H_2O = 26,49 \text{ kg} = 1,4717 \text{ kmol}$

$$T_{ref} = 273^\circ K$$

Untuk H_2O diperoleh nilai a, b, c, d sebesar ^[39]:

$$a = 18,3 \quad b = 47,21 \times 10^{-2} \quad c = -133,9 \times 10^{-4} \quad d = 1314,2 \times 10^{-9}$$

$$C_p^* H_2O = a \times (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \times (T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3} (T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4} (T_2^4 - T_1^4)$$

$$18,3 \times (303 - 273) + \frac{47,21 \times 10^{-2}}{2} \times (303^2 - 273^2) + \frac{-133,9 \times 10^{-4}}{3} \times (303^3 - 273^3) + \frac{1314,2 \times 10^{-9}}{4} \times (303^4 - 273^4)$$

$$= 2237,992 \text{ kJ/kmol}$$

$$\text{Enthalpi } H_2O = 1,4717 \text{ kmol} \times 2237,992 \text{ kJ/kmol} = 3293,578 \text{ kJ}$$

$C_p^* = \text{enthalpi/kmol dari bahan}$

- Massa papain = 3 kg

$$C_p \text{ papain} = 1,80 \text{ kJ/kg.}^\circ K \text{ }^{[40]}$$

$$\text{Enthalpi papain} = 3 \text{ kg} \times 1,80 \text{ kJ/kg.}^\circ K \times (303 - 273)^\circ K$$

$$= 162 \text{ kJ}$$

- Massa khimopapain = 13,5 kg

$$C_p \text{ khimopapain} = 3,09 \text{ kJ/kg.}^\circ K \text{ }^{[40]}$$

$$\text{Enthalpi khimopapain} = 13,5 \text{ kg} \times 3,09 \text{ kJ/kg.}^\circ K \times (303 - 273)^\circ K$$

$$= 1251,45 \text{ kJ}$$

- Massa lizozim = 7,5 kg

$$C_p \text{ lizozim} = 2,14 \text{ kJ/kg.}^\circ K \text{ }^{[40]}$$

$$\text{Enthalpi lizozim} = 7,5 \text{ kg} \times 2,14 \text{ kJ/kg.}^\circ K \times (303 - 273)^\circ K$$

$$= 481,5 \text{ kJ}$$

$$\Delta H \text{ bahan masuk} = 5193,958 \text{ kJ}$$

Mencari Cp uap air rata-rata pada 30°C hingga 80°C

Dari Tabel C.1 ^[41] didapat:

T, °C	T, °K	Cp/R, J/gr.°K
30	303	4,0401
40	313	4,0474
50	323	4,0543
60	333	4,062
70	343	4,0702
80	353	4,079

$$R = 8,314 \text{ J/gmol.}^\circ\text{K}$$

Cp rata-rata dihitung dengan metode trapezoidal ^[38].

$$\begin{aligned} C_{p\text{uap air rata-rata}} &= \frac{\frac{\Delta T}{2} (4,0401 + 2(4,0474 + 4,0543 + 4,062 + 4,0702) + 4,079)}{T_2 - T_1} \times R \\ &= \frac{\frac{10}{2} (4,0401 + 2(4,0474 + 4,0543 + 4,062 + 4,0702) + 4,079)}{353 - 303} \times 8,314 \\ &= 33,7449 \text{ J/gr.}^\circ\text{K} \\ &= 1,8747 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Enthalpi bahan keluar *spray dryer* (pada suhu 80°C)

Dengan cara yang sama seperti perhitungan enthalpi bahan masuk, namun pada suhu keluar 80°C :

$$\Delta H \text{ bahan keluar} = 5505,305 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ udara masuk} &= m \text{ udara} \times C_p \text{ udara rata-rata} \times (T \text{ udara masuk} - T_{\text{ref}}) \\ &= m_u \times 1,0078 \times (100 - 30) \\ &= 70,546 m_u \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ uap air keluar} &= m \text{ uap air} \times C_p \text{ uap air rata-rata} \times (T \text{ uap air keluar} - T_{\text{ref}}) \\ &= 24,9887 \times 1,8747 \times (80 - 30) \\ &= 2342,3158 \text{ kJ} \end{aligned}$$

ΔH bahan yang terikut uap air = 215,5382 kJ

ΔH uap air keluar + bahan yang terikut = (2342,3158 + 215,5382) kJ = 2557,855 kJ

ΔH udara keluar = m udara x Cp udara rata-rata x (T udara keluar-Tref)

$$= m_u \times 1,0072 \times (80-30)$$

$$= 50,36 m_u \text{ kJ}$$

$Q_{in} = Q_{out} + Q_{loss}$

$$5193,958 + 70,546 m_u = 5505,305 + 2557,855 + 50,36 m_u + (70,546 m_u \times 0,05)$$

$$m_u = 172,2344 \text{ kg}$$

Jadi :

ΔH udara masuk = 12150,4480 kJ

ΔH udara keluar = 8673,7244 kJ

$Q_{loss} = 607,5224 \text{ kJ}$

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
ΔH bahan masuk	5193,958	ΔH bahan keluar	5505,305
ΔH udara masuk	12150,4480	ΔH uap air + bahan terikut	2557,855
		ΔH udara keluar	8673,7244
		Q_{loss}	607,5224
Total	17344,406	Total	17344,406

APPENDIX C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN

C.1 Mixer I

Fungsi: mencampur Natrium hidrosulfit, Thymol, dan air

Tipe: silinder tegak dengan tutup atas dan tutup bawah berbentuk *flat*

Dasar pemilihan: sesuai untuk operasi pada tekanan atmosfer dan kapasitas yang kecil

Kebutuhan: 20,76 kg/hari (*batch*)

Densitas *liquid*: $995,68 \text{ kg/m}^3 = 62,1609 \text{ lb/ft}^3$

Volume *liquid*: $20,76 \text{ kg} / (995,68 \text{ kg/m}^3) = 0,0209 \text{ m}^3 \times (3,2808 \text{ ft/m})^3 = 0,7363 \text{ ft}^3$

Diambil tinggi *shell* = diameter tangki

Volume tangki = $1,25 \times \text{volume liquid}$

$$= 1,25 \times 0,7363 \text{ ft}^3$$

$$= 0,9204 \text{ ft}^3$$

Volume tangki = $V_{\text{shell}} + V_{\text{tutup atas}} + V_{\text{tutup bawah}}$

$$0,9204 \text{ ft}^3 = \frac{1}{4} \times \pi \times D^3 + 0 + 0$$

$$D = 1,0543 \text{ ft} = 12,6515 \text{ in}$$

$$H_s = D = 1,0543 \text{ ft}$$

Tinggi cairan dalam *shell*:

$V_{\text{liquid}} = V_{\text{liquid dalam silinder}}$

$$0,7363 \text{ ft}^3 = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

$$0,7363 \text{ ft}^3 = \frac{1}{4} \times \pi \times (1,0543 \text{ ft})^2 \times H$$

$$H = 0,8439 \text{ ft} = 10,1263 \text{ in}$$

$$P_{operasi} = 14,7 + P_{hidrostatik}$$

$$= 14,7 + (\rho \times H) / 144$$

$$= 14,7 + (62,1609 \times 0,8439) / 144$$

$$= 15,0643 \text{ psia}$$

$$P_{design} = 1,5 \times P_{operasi}$$

$$= 1,5 \times 15,0643 \text{ psia}$$

$$= 22,5964 \text{ psia}$$

Tebal *shell* ^[2]:

$$t_s = (P \times D_i / (2 \times f \times e - 0,6 \times P)) + C$$

Keterangan:

$$P = P_{design} = 22,5964 \text{ psia}$$

$$D_i = 12,6515 \text{ in}$$

Bahan konstruksi = *stainless steel* SA-240 grade C

f = tekanan maksimum yang diijinkan = 18750 psi

Tipe sambungan : *double-welded butt joint*

$$e = 0,8$$

$$C = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$t_s = (22,5964 \times 12,6515 / (2 \times 18750 \times 0,8 - 0,6 \times 22,5964)) + 1/8$$

$$= 0,13 \text{ in} \rightarrow \text{digunakan tebal} = 3/16 \text{ in}$$

Tutup tangki:

Diambil tebal tutup atas = $t_s = 3/16 \text{ in} = 0,0156 \text{ ft}$

Tebal tutup bawah ^[2]:

$$t = d \times (C \times (P / f))^{0,5}$$

Keterangan:

t = tebal minimum, in.

d = diameter = 12,6515 in

P = tekanan *design*, psi = 22,5964 psia

f = tekanan maksimum yang diijinkan = 18750 psia

C = konstanta = 0,25

$$t = 12,6515 \times (0,25 \times (22,5964 / 18750))^{0,5}$$

$$= 0,2196 \text{ in}$$

Untuk faktor keamanan, maka ditambah dengan faktor korosi 2 mm = 0,0787 in

$$\text{Jadi, } t = 0,2196 + 0,0787 = 0,2983 \text{ in} \approx \frac{1}{2} \text{ in} = 0,0417 \text{ ft}$$

Tinggi tangki keseluruhan = tinggi *shell* + tutup atas + tutup bawah

$$= 1,0543 + 0,0156 + 0,0417$$

$$= 1,1116 \text{ ft}$$

Pengaduk:

Dipilih pengaduk jenis turbin *six flat blade*

$$D_a = 0,3-0,5 \times D_{\text{tangki}} \text{ }^{[3]}$$

$$D_a = 0,4 \times 1,0543 \text{ ft} = 0,4217 \text{ ft} = 0,1285 \text{ m}$$

Diambil kecepatan *impeller* = 350 rpm

Kecepatan peripheral = 200-250 m/menit ^[5]

Untuk N = 350 rpm, maka kecepatan peripheral = $\pi \times Da \times N$

$$= \pi \times 0,1285 \times 350$$

$$= 141,2626 \text{ m/menit}$$

$$\%liquid \text{ (air)} = (20,49 / 20,76) \times 100\% = 98,7\%$$

$$\%solid = ((0,21 + 0,06) / 20,76) \times 100\% = 1,3\%$$

$$\varepsilon = (98,7 / 995,68) / ((98,7 / 995,68) + (1,3 / 995,68)) = 0,987$$

$$\psi_p = 1 / (10^{1,82 \times (1 - \varepsilon)})^{[3]}$$

$$= 1 / (10^{1,82 \times (1 - 0,987)})$$

$$= 0,947$$

$$\mu_m = \mu / \psi_p^{[3]}$$

$$= (0,8007 \times 10^{-3}) / 0,947$$

$$= 8,4555 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s} = 5,682 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$$

$$N_{re} = (Da^2 \times N \times \rho) / \mu$$

$$= (0,4217^2 \times (350 / 60) \times 62,1609) / (5,6817 \times 10^{-4})$$

$$= 113491,8764$$

Dari Fig. 3.4-4 ^[3] didapatkan $N_p = 5$

$$\text{Jumlah } impeller = (sg \times H) / D$$

$$= ((62,1609 / 62,1609) \times 1,1116) / 1,0543$$

$$= 1,0543 \approx 1 \text{ impeller}$$

$$N_p = (P \times gc) / (\rho \times N^3 \times Da^5)^{[3]}$$

$$P = (N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5) / gc$$

$$= (5 \times 62,1609 \times (350/60)^3 \times 0,4217^5) / 32,174$$

$$= 25,5746 \text{ ft.lb/s}$$

$$= 0,0465 \text{ hp}$$

Power untuk 1 buah *impeller* = 0,0465 hp

$$\text{Gland losses} = 10\% \times 0,0465 \text{ hp} = 0,00465 \text{ hp}$$

$$\text{Power input} = 0,0465 \text{ hp} + 0,00465 \text{ hp} = 0,0511 \text{ hp}$$

$$\text{Transmission system losses} = 20\% \times 0,0511 \text{ hp} = 0,0102 \text{ hp}$$

$$\text{Total power} = 0,0511 \text{ hp} + 0,0102 \text{ hp} = 0,0614 \text{ hp}$$

Dari Tabel 3.4-1 ^[3]:

$$J = \text{lebar } \textit{baffle} = 1/12 \times D_t = 1/12 \times 1,0543 = 0,0879 \text{ ft}$$

$$W = \text{lebar } \textit{blade} = 1/5 \times D_a = 1/5 \times 0,4217 = 0,0843 \text{ ft}$$

$$C = \text{jarak dari dasar tangki ke } \textit{center impeller} = 1/3 \times D_t = 1/3 \times 1,0543 = 0,3514 \text{ ft}$$

$$L = \text{panjang } \textit{blade} = 1/4 \times D_a = 1/4 \times 0,4217 = 0,1054 \text{ ft}$$

Jumlah tangki = 1 buah

C.2 *Mixer II*

Fungsi: mencampur campuran dari *mixer I* dan getah pepaya

Tipe: silinder tegak dengan tutup atas *flat* dan tutup bawah berbentuk *dished head*

Dasar pemilihan: sesuai untuk operasi pada tekanan atmosfer dan kapasitas yang kecil

Kebutuhan: 52,26 kg/hari (*batch*).

Tabel C.1 Densitas bahan masuk *mixer* 2

Bahan	$\rho(\text{kg/m}^3)$
H ₂ O	995,7
NaHSO ₃	1007,8
C ₁₀ H ₁₄ O	997
papain	998
khimopapain	1710,9
lizozim	1881

Tabel C.2 Fraksi massa bahan masuk *mixer* 2

Bahan	Fraksi massa (x)
H ₂ O	0,507
NaHSO ₃	0,004
C ₁₀ H ₁₄ O	0,001
papain	0,057
khimopapain	0,258
lizozim	0,144

$$1/\rho_{\text{campuran}} = \sum(x/\rho)$$

$$1/\rho_{\text{campuran}} = (0,507/995,7) + (0,004/1007,8) + (0,001/997) + (0,057/998) + (0,258/1710,9) + (0,144/1881)$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 1251,5330 \text{ kg/m}^3 = 78,1340 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Volume liquid} = 52,26 \text{ kg} / (1251,5330 \text{ kg/m}^3) = 0,0418 \text{ m}^3 \times (3,2808 \text{ ft/m})^3 = 1,4746 \text{ ft}^3$$

Diambil tinggi *shell* = diameter tangki

$$\text{Volume tangki} = 1,25 \times \text{volume liquid}$$

$$= 1,25 \times 1,4746 \text{ ft}^3$$

$$= 1,8432 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume tangki} = V_{\text{shell}} + V_{\text{tutup atas}} + V_{\text{tutup bawah}}$$

$$1,8432 \text{ ft}^3 = \frac{1}{4} \times \pi \times D^3 + 0 + 0$$

$$D = 1,3289 \text{ ft} = 15,9471 \text{ in}$$

$$H_s = D = 1,3289 \text{ ft}$$

Tinggi cairan dalam *shell*:

$$V_{liquid} = V_{liquid} \text{ dalam silinder}$$

$$1,4746 \text{ ft}^3 = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

$$1,4746 \text{ ft}^3 = \frac{1}{4} \times \pi \times (1,3289 \text{ ft})^2 \times H$$

$$H = 1,0637 \text{ ft} = 12,7642 \text{ in}$$

$$P_{operasi} = 14,7 + P_{hidrostatik}$$

$$= 14,7 + (\rho \times H) / 144$$

$$= 14,7 + (78,1340 \times 1,0637) / 144$$

$$= 15,2771 \text{ psia}$$

$$P_{design} = 1,5 \times P_{operasi}$$

$$= 1,5 \times 15,2771 \text{ psia}$$

$$= 22,9157 \text{ psia}$$

Tebal *shell*:

$$t_s = (P \times D_i / (2 \times f \times e - 0,6 \times P)) + C \text{ [2]}$$

Keterangan:

$$P = P_{design} = 22,9157 \text{ psia}$$

$$D_i = 15,9471 \text{ in}$$

Bahan konstruksi = *stainless steel SA-240 grade C*

f = tekanan maksimum yang diijinkan = 18750 psi [2]

Tipe sambungan : *double-welded butt joint* [2]

$$e = 0,8$$

$$C = 1/8 \text{ in}$$

$$ts = (22,9157 \times 15,9471 / (2 \times 18750 \times 0,8 - 0,6 \times 22,9157)) + 1/8$$

$$= 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{digunakan tebal} = 3/16 \text{ in}$$

$$OD = ID + 2 \times ts$$

$$= 15,9471 + (2 \times 3/16)$$

$$= 16,32 \text{ in}$$

Dari Tabel 5.7 ^[2] diperoleh:

$$OD_{\text{standar}} = 30 \text{ in}$$

$$rc \text{ (crown radius/ radius of dish)} = 30 \text{ in}$$

$$icr \text{ (inside corner radius / knuckle radius)} = rc \times 2,5/40 = 1^7/8 \text{ in} = 1,875 \text{ in}$$

$$w = 1/4 \times (3 + (rc/icr)^{0,5}) = 1/4 \times (3 + (30/1,875)^{0,5}) = 1^3/4 \text{ in} = 1,75 \text{ in}$$

$$a = ID / 2 = 15,9471 / 2 = 7,9735 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = 7,9735 - 1,875 = 6,10 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 30 - 1,875 = 28,125 \text{ in}$$

$$b = rc - (BC^2 - AB^2)^{0,5} = 30 - (28,125^2 - 6,10^2)^{0,5} = 2,5442 \text{ in}$$

$$td = (P \times rc \times w) / (2 \times f \times E - 0,2 \times P) + C \text{ }^{[2]}$$

Keterangan::

$$P = P_{\text{design}} = 22,9157 \text{ psia}$$

Dari App. D ^[2] didapatkan:

Bahan konstruksi = *stainless steel* SA-240, *grade C*, di mana:

$$f = \text{stress maksimum yang diijinkan} = 18750 \text{ psi}$$

Tipe sambungan = *double welded joint*, di mana:

$$E = \text{welded joint efficiency} = 0,80$$

$$C = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} t_d &= (22,9157 \times 30 \times 1,75) / ((2 \times 18750 \times 0,85) - (0,2 \times 22,9157)) + 1/8 \\ &= 0,125 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{dipilih panjang } \textit{straight-flange} \text{ (sf)} = 2 \text{ in}^{[2]}$$

$$OA = t_d + b + sf$$

$$= 3/16 + 2,5442 + 2$$

$$= 4,7069 \text{ in} = 0,3922 \text{ ft}$$

$$\text{Diambil tebal tutup atas} = t_s = 3/16 \text{ in} = 0,0156 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki keseluruhan} = \text{tinggi } \textit{shell} + \text{tutup atas} + \text{tutup bawah}$$

$$= 1,3289 + 0,0156 + 0,3922$$

$$= 1,7367 \text{ ft}$$

Pengaduk:

Dipilih pengaduk jenis turbin *six flat blade*

$$D_a = 0,3\text{-}0,5 \times D_{\text{tangki}}^{[3]}$$

$$D_a = 0,4 \times 1,3289 \text{ ft} = 0,5316 \text{ ft} = 0,1620 \text{ m}$$

$$\text{Diambil kecepatan } \textit{impeller} = 350 \text{ rpm}$$

$$\text{Kecepatan peripheral} = 200\text{-}250 \text{ m/menit}^{[5]}$$

$$\text{Untuk } N = 350 \text{ rpm, maka kecepatan peripheral} = \pi \times D_a \times N$$

$$= \pi \times 0,1620 \times 350$$

$$= 178,0628 \text{ m/menit}$$

$$\% \text{liquid (air)} = (20,49 + 6) / 52,26 \times 100\% = 50,7\%$$

$$\% \text{solid} = 100\% - 50,7\% = 49,3\%$$

$$\varepsilon = (50,7 / 1001,207) / ((50,7 / 1001,207) + (49,3 / 1700,722)) = 0,6359$$

$$\psi_p = 1 / (10^{1,82 \times (1 - \varepsilon)})^{[3]}$$

$$= 1 / (10^{1,82 \times (1 - 0,6359)})$$

$$= 0,2174$$

Tabel C.3 Viskositas bahan masuk *mixer 2*

Bahan	Viskositas (kg/m.s)
H ₂ O	0,0008007
NaHSO ₃	0,00105
C ₁₀ H ₁₄ O	0,0009
papain	1,92
khimopapain	3,2914
lizozim	2,2857

$$\mu_{\text{campuran}} = \sum \sqrt{\mu \cdot x}$$

$$= \sqrt{(0,0008007 \times 0,507)} + \sqrt{(0,00105 \times 0,004)} + \sqrt{(0,0009 \times 0,001)} + \sqrt{(1,92 \times$$

$$0,057)} + \sqrt{(3,2914 \times 0,258)} + \sqrt{(2,2857 \times 0,144)}$$

$$= 1,848 \text{ kg/m.s} = 1,1525 \text{ lb/ft.s}$$

$$\mu_m = \mu / \psi_p^{[3]}$$

$$= (1,848) / 0,2174$$

$$= 8,5006 \text{ kg/m.s} = 5,7123 \text{ lb/ft.s}$$

$$N_{re} = (Da^2 \times N \times \rho) / \mu$$

$$= (0,5316^2 \times (350 / 60) \times 78,1340) / 5,7123$$

$$= 22,5454$$

Dari Fig. 3.4-4 ^[3] didapatkan $N_p = 5$

$$\text{Jumlah } \textit{impeller} = (\text{sg} \times H) / D$$

$$= ((78,1340/62,1609) \times 1,7367) / 1,3289$$

$$= 1,625 \approx 2 \textit{ impeller}$$

$$N_p = (P \times \text{gc}) / (\rho \times N^3 \times D a^5)^{[3]}$$

$$P = (N_p \times \rho \times N^3 \times D a^5) / \text{gc}$$

$$= (5 \times 78,1340 \times (350/60)^3 \times 0,5316^5) / 32,174$$

$$= 102,2895 \text{ ft.lb/s}$$

$$= 0,1860 \text{ hp}$$

$$\text{Power untuk 2 buah } \textit{impeller} = 0,1860 \times 2 = 0,3720 \text{ hp}$$

$$\text{Gland losses} = 10\% \times 0,3720 \text{ hp} = 0,03720 \text{ hp}$$

$$\text{Power input} = 0,3720 \text{ hp} + 0,03720 \text{ hp} = 0,4092 \text{ hp}$$

$$\text{Transmission system losses} = 20\% \times 0,4092 \text{ hp} = 0,0818 \text{ hp}$$

$$\text{Total power} = 0,4092 \text{ hp} + 0,0818 \text{ hp} = 0,4910 \text{ hp}$$

Dari Tabel 3.4-1^[3]:

$$J = \text{lebar } \textit{baffle} = 1/12 \times D_t = 1/12 \times 1,3289 = 0,1107 \text{ ft}$$

$$W = \text{lebar } \textit{blade} = 1/5 \times D_a = 1/5 \times 0,5316 = 0,1063 \text{ ft}$$

$$C = \text{jarak dari dasar tangki ke } \textit{center impeller} = 1/3 \times D_t = 1/3 \times 1,3289 = 0,4430 \text{ ft}$$

$$L = \text{panjang } \textit{blade} = 1/4 \times D_a = 1/4 \times 0,5316 = 0,1329 \text{ ft}$$

$$\text{Jumlah tangki} = 1 \text{ buah}$$

C.3 Saringan

Fungsi : untuk memisahkan kotoran dari bubur getah bersih

Tipe : *vibrating screen*

Dasar pemilihan : dapat memisahkan partikel kotoran berukuran 4-35 mesh

Kapasitas : 52,26 kg/hari = 0,05226 ton/hari

Pada *vibrating screen*, biasa dipakai 1800-3600 vibrasi per menit untuk *slurry*^[5]

Kapasitas *actual screen* = 0,2 - 0,8 ton/ft².jam.mm.*meshsize*^[5]

Standarisasi ukuran *screen*^[1]:

- lebar = 3-4 ft
- panjang = 8-10 ft

Ditetapkan:

- diameter partikel = 80 *mesh* = 0,5556 mm
- dipakai 3000 vibrasi per menit
- kapasitas *actual screen* 0,4 ton/ft².jam.mm.*meshsize*

Luas area yang dibutuhkan = (0,05226 ton/hari) / (0,4 ton/ft².jam.mm.*meshsize*)

$$= 0,13065 \text{ ft}^2.\text{jam.mm.meshsize}$$

- diambil ukuran *screen* = 3 x 8 ft
- *power* = 4 hp^[5]

Spesifikasi *Screen* :

Kapasitas proses = 0,05226 ton/hari

Ukuran *screen* = 3 x 8 ft

Diameter partikel = 80 *mesh* = 0,5556 mm

Jumlah vibrasi = 3000 vibrasi/menit

power = 4 hp

Jumlah = 1 buah

C.4 Lumpang dan Alu

Fungsi : memperkecil ukuran enzim papain kering yang keluar dari *spray dryer*

Bahan : porselen

Dasar pemilihan : sesuai untuk menghancurkan partikel kasar atau bongkahan yang rapuh menjadi serbuk yang halus serta harganya murah.

Spesifikasi Lumpang dan Alu :

Kapasitas : 30,3319 kg/hari

Diameter Lumpang : 20 cm

Tinggi Lumpang : 9 cm

Diameter Alu : 4 cm

Panjang Alu : 18 cm

Jumlah : 2 buah

C.5 Pompa I

Fungsi : memompa larutan dari *mixer I* ke *mixer II*

Tipe : *centrifugal pump*

Dasar pemilihan : memiliki kemampuan untuk memompa larutan dengan baik

Tabel C.4 Fraksi massa bahan keluar *mixer I*

Bahan	Fraksi massa (x)
H ₂ O	0,987
NaHSO ₃	0,01
C ₁₀ H ₁₄ O	0,003

Jumlah umpan masuk = 20,76 kg/hari x 2,2046 lb/kg

= 45,7682 lb/hari

$$1 / \rho_{\text{campuran}} = \Sigma(x/\rho) = (0,987/995,7) + (0,01/1007,8) + (0,003/997)$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 995,8247 \text{ kg/m}^3 = 62,1699 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Waktu pengisian} = 1 \text{ jam/hari}$$

$$\text{Rate pengisian} = (45,7682 \text{ lb/hari}) / (1 \text{ jam/hari}) = 45,7682 \text{ lb/jam} = 0,0127 \text{ lb/s}$$

$$\text{Rate volumetric larutan} = (0,0127 \text{ lb/s}) / (62,1699 \text{ lb/ft}^3) = 2,0449 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$= 0,0918 \text{ gpm}$$

$$= 0,0123 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

$$= 5,7909 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabel C.5 Viskositas bahan masuk *mixer II*

Bahan	Viskositas (lb/ft.s)
H ₂ O	0,000499
NaHSO ₃	0,000655
C ₁₀ H ₁₄ O	0,000561

$$\mu_{\text{campuran}} = \Sigma \sqrt[3]{(\mu \cdot x)}$$

$$= \sqrt[3]{(0,000499 \times 0,987)} + \sqrt[3]{(0,000655 \times 0,01)} + \sqrt[3]{(0,000561 \times 0,003)}$$

$$= 0,026 \text{ lb/ft.s} = 0,0388 \text{ kg/m.s} = 0,0388 \text{ Pas}$$

Asumsi : aliran turbulen ($N_{re} > 2100$)

$$\text{Dioptimum} = 3,9 \times qf^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

$$= 3,9 \times (2,0449 \times 10^{-4})^{0,45} \times (62,1699)^{0,13}$$

$$= 0,1459 \text{ in} = 0,0122 \text{ ft}$$

Dipilih *commercial steel pipe* berukuran 1/4 in sch 80 dari App.A.5-1^[3].

$$\text{ID} = 0,302 \text{ in} = 0,0077 \text{ m} = 0,0252 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 0,54 \text{ in}$$

$$A = 0,0005 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan linear (v2)} = (2,0449 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{s}) / (1/4 \times \pi \times (0,0122 \text{ ft})^2) = 1,7624 \text{ ft/s}$$

$$\text{Nre} = (\rho \times v \times \text{ID}) / \mu$$

$$= (62,1699 \times 1,7624 \times 0,0252) / 0,026$$

$$= 10586,3481 \text{ (turbulen)}$$

Dari perhitungan didapatkan aliran yang turbulen, maka asumsi benar.

$$\text{Kecepatan alir (v1)} = 0$$

Dengan persamaan Bernoulli :

$$(v2^2 - v1^2) / (2 \times \alpha \times gc) + g \times (z2 - z1) / gc + (P2 - P1) / \rho + \sum F + Ws = 0$$

Dimana $\sum F$ merupakan *total friksional losses*, meliputi :

1. *losses* karena kontraksi
2. *losses* karena friksi pada pipa lurus
3. *losses* karena friksi pada *elbow* dan *valve*

Perhitungan $\sum F$:

1. *Losses* karena kontraksi

$$Kc = 0,55 \times (1 - A2/A1)$$

Karena $A1 \gg A2$, maka $A2/A1$ diabaikan

$$Kc = 0,55 \times (1 - 0) = 0,55$$

$$hc = Kc \times (v^2 / (2 \times gc \times \alpha)) = 0,55 \times (1,7624^2 / (2 \times 32,174 \times 1)) = 0,0265 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. *Losses* karena friksi pada pipa lurus Ff

Digunakan *commercial steel pipe*

Dari Fig. 2.10-3^[3] didapat $f = 0,2$

Diambil panjang pipa lurus (ΔL) = 5 m = 16,404 ft

$$Ff = 4 \times f \times \Delta L \times v^2 / (D \times 2 \times gc)$$

$$= 4 \times 0,2 \times 16,404 \times 1,7624^2 / (0,0252 \times 2 \times 32,174)$$

$$= 25,1711 \text{ ft.lbf/lbm}$$

3. *Losses* karena friksi pada *elbow* dan *valve*

Terdapat 1 *gate valve*, 1 *globe valve*, dan 3 *elbow* 90°

Dari Tabel 2.10-1^[3] diketahui:

$$K_f(\text{gate valve}) = 0,17$$

$$K_f(\text{globe valve}) = 6,0$$

$$K_f(\text{elbow } 90^\circ) = 0,75$$

$$h_f = K_f \times (v^2 / (2 \times \alpha \times g_c))$$

$$= (0,17 \times 1,7624^2 / (2 \times 32,174 \times 1)) + (6,0 \times 1,7624^2 / (2 \times 32,174 \times 1)) + (3 \times (0,75 \times 1,7624^2 / (2 \times 32,174 \times 1)))$$

$$= 0,4064 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum F = 0,0265 + 25,1711 + 0,4064 = 25,6041 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$(v_2^2 - v_1^2) / (2 \times \alpha \times g_c) + g \times (z_2 - z_1) / g_c + (P_2 - P_1) / \rho + \sum F + W_s = 0$$

$$(1,7624^2 - 0) / (2 \times 1 \times 32,174) + 32,174 \times 6,5616 / 32,174 + 0 + 25,6041 + W_s = 0$$

$$-W_s = 32,2140 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$m = q \times \rho = 2,0449 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{s} \times 62,1699 \text{ lb/ft}^3 = 0,0127 \text{ lb/s}$$

$$\text{dari Tabel 12-4}^{[9]} : \eta = 70\% = 0,7$$

$$\text{Brake hp} = -W_s \times m / (\eta \times 550)$$

$$= 32,2140 \times 0,0127 / (0,7 \times 550)$$

$$= 0,0011 \text{ hp}$$

C.6 Pompa II

Fungsi : memompa *slurry* dari *mixer* II ke saringan

Tipe : *centrifugal pump*

Dasar pemilihan : memiliki kemampuan yang baik untuk memompa *slurry*

Tabel C.6 Fraksi massa bahan keluar *mixer* II

Bahan	Fraksi massa (x)
H ₂ O	0,507
NaHSO ₃	0,004
C ₁₀ H ₁₄ O	0,001
papain	0,057
khimopapain	0,258
lizozim	0,144

Jumlah umpan masuk = 52,26 kg/hari = 115,2142 lb/hari

$$1 / \rho_{\text{campuran}} = \sum (x/\rho)$$

$$1/\rho_{\text{campuran}} = (0,507/995,7) + (0,004/1007,8) + (0,001/997) + (0,057/998) + (0,258/1710,9) + (0,144/1881)$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 1251,5330 \text{ kg/m}^3 = 78,1339 \text{ lb/ft}^3$$

Waktu pengisian = 1 jam/hari

$$\begin{aligned} \text{Rate pengisian} &= (115,2142 \text{ lb/hari}) / (1 \text{ jam/hari}) = 115,2142 \text{ lb/jam} \\ &= 0,0320 \text{ lb/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik larutan} &= (0,0320 \text{ lb/s}) / (78,1335 \text{ lb/ft}^3) = 0,0004 \text{ ft}^3/\text{s} \\ &= 0,1839 \text{ gpm} \\ &= 0,0246 \text{ ft}^3/\text{menit} \\ &= 1,1599 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Tabel C.7 Viskositas bahan keluar *mixer II*

Bahan	Viskositas (lb/ft.s)
H ₂ O	0.000499
NaHSO ₃	0.000655
C ₁₀ H ₁₄ O	0.000561
papain	1.197368
khimopapain	2.052612
lizozim	1.425429

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{campuran}} &= \sum \sqrt[3]{\mu \cdot x} \\
 &= \sqrt[3]{(0,000499 \times 0,507)} + \sqrt[3]{(0,000655 \times 0,004)} + \sqrt[3]{(0,000561 \times 0,001)} + \\
 &\quad \sqrt[3]{(1,197368 \times 0,057)} + \sqrt[3]{(2,052612 \times 0,258)} + \sqrt[3]{(1,425429 \times 0,144)} \\
 &= 1,461 \text{ lb/ft.s} = 2,1741 \text{ kg/m.s} = 2,1741 \text{ Pas}
 \end{aligned}$$

Asumsi : aliran viskos ($N_{re} < 2100$)

$$\begin{aligned}
 \text{Dioptimum} &= 0,133 \times mv^{0,4} \times \mu f^{0,2} \\
 &= 0,133 \times (0,0246)^{0,4} \times (2,1741)^{0,2} \\
 &= 0,0016 \text{ m} = 0,0649 \text{ in} = 0,0054 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dipilih *commercial steel pipe* berukuran 1/8 in sch 80 dari App.A.5-1 ^[3]

$$ID = 0,215 \text{ in} = 5,461 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,0179 \text{ ft}$$

$$OD = 0,405 \text{ in}$$

$$A = 0,00025 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan linear (v}_2\text{)} = (0,0004 \text{ ft}^3/\text{s}) / (1/4 \times \pi \times (0,0054 \text{ ft})^2) = 17,8393 \text{ ft/s}$$

$$\begin{aligned}
 N_{re} &= (\rho \times v \times ID) / \mu \\
 &= (78,1335 \times 17,8393 \times 0,0179) / 1,461 \\
 &= 17,0933 \text{ (viskos)}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan aliran yang viskos, maka asumsi benar .

$$\text{Kecepatan alir (v}_1\text{)} = 0$$

Dengan persamaan Bernoulli :

$$(v_2^2 - v_1^2) / (2 \times \alpha \times g_c) + g \times (z_2 - z_1) / g_c + (P_2 - P_1) / \rho + \sum F + W_s = 0$$

Dimana $\sum F$ merupakan *total frictional losses*, meliputi :

1. *losses* karena kontraksi
2. *losses* karena friksi pada pipa lurus
3. *losses* karena friksi pada *elbow* dan *valve*

Perhitungan $\sum F$:

1. *Losses* karena kontraksi

$$K_c = 0,55 \times (1 - A_2/A_1)$$

Karena $A_1 \gg A_2$, maka A_2/A_1 diabaikan

$$K_c = 0,55 \times (1 - 0) = 0,55$$

$$h_c = K_c \times (v^2 / (2 \times g_c \times \alpha))$$

$$= 0,55 \times (17,8393^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5))$$

$$= 5,4402 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. *Losses* karena friksi pada pipa lurus F_f

Digunakan *commercial steel pipe*

Dari Fig. 2.10-3 ^[3] didapat $f = 0,2$

Diambil panjang pipa lurus (ΔL) = 5 m = 16,404 ft

$$F_f = 4 \times f \times \Delta L \times v^2 / (D \times 2 \times g_c)$$

$$= 4 \times 0,2 \times 16,404 \times 17,8393^2 / (0,0179 \times 2 \times 32,174)$$

$$= 3622,4849 \text{ ft.lbf/lbm}$$

3. *Losses* karena friksi pada *elbow* dan *valve*

Terdapat 1 *gate valve*, 1 *globe valve*, dan 3 *elbow* 90°

Dari Tabel 2.10-1 ^[3] diketahui:

$$K_f(\text{gate valve}) = 0,17$$

$$K_f(\text{globe valve}) = 6,0$$

$$K_f(\text{elbow } 90^\circ) = 0,75$$

$$h_f = K_f \times (v^2 / (2 \times \alpha \times g_c))$$

$$= (0,17 \times 17,8393^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5)) + (6,0 \times 17,8393^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5)) +$$

$$(3 \times (0,75 \times 17,8393^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5)))$$

$$= 83,2840 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum F = 5,4402 + 3622,4849 + 83,2840 = 3711,2091 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$(v_2^2 - v_1^2) / (2 \times \alpha \times g_c) + g \times (z_2 - z_1) / g_c + (P_2 - P_1) / \rho + \sum F + W_s = 0$$

$$(17,8393^2 - 0) / (2 \times 0,5 \times 32,174) + 32,174 \times 6,5616 / 32,174 + 0 + 3711,2091 + W_s = 0$$

$$-W_s = 3727,6619 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$m = q \times \rho = 0,0004 \text{ ft}^3/\text{s} \times 78,1339 \text{ lb/ft}^3 = 0,0320 \text{ lb/s}$$

$$\text{Dari Tabel 12-4}^{[9]} : \eta = 60\% = 0,6$$

$$\text{Brake hp} = -W_s \times m / (\eta \times 550)$$

$$= 3727,6619 \times 0,0320 / (0,6 \times 550)$$

$$= 0,3615 \text{ hp}$$

C.7 Pompa III

Fungsi : memompa *slurry* dari saringan ke *plate and frame filter press*

Tipe : *centrifugal pump*

Dasar pemilihan : memiliki kemampuan yang baik untuk memompa *slurry*

Tabel C.8 Fraksi massa bahan keluar saringan

Bahan	Fraksi massa (x)
H ₂ O	0,522
NaHSO ₃	0,004
C ₁₀ H ₁₄ O	0,001
papain	0,059
khimopapain	0,266
lizozim	0,148

Jumlah umpan masuk = 50,76 kg/hari x 2,2046 lb/kg = 111,9072 lb/hari

$$1 / \rho_{\text{campuran}} = \sum (x/\rho)$$

$$1/\rho_{\text{campuran}} = (0,522/995,7) + (0,004/1007,8) + (0,001/997) + (0,059/998) + (0,266/1710,9) + (0,148/1881)$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 1215,6107 \text{ kg/m}^3 = 75,8913 \text{ lb/ft}^3$$

Waktu pengisian = 1 jam/hari

$$\text{Rate pengisian} = (111,9072 \text{ lb/hari}) / (1 \text{ jam/hari}) = 111,9072 \text{ lb/jam} = 0,0311 \text{ lb/s}$$

$$\text{Rate volumetric larutan} = (0,0311 \text{ lb/s}) / (75,8909 \text{ lb/ft}^3) = 4,096 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$= 0,1839 \text{ gpm}$$

$$= 0,0246 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

$$= 1,1599 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabel C.9 Viskositas bahan keluar saringan

Bahan	Viskositas (lb/ft.s)
H ₂ O	0,000499
NaHSO ₃	0,000655
C ₁₀ H ₁₄ O	0,000561
papain	1,197368
khimopapain	2,052612
lizozim	1,425429

$$\begin{aligned}\mu_{\text{campuran}} &= \sum \sqrt{\mu \cdot x} \\ &= \sqrt{(0,000499 \times 0,522)} + \sqrt{(0,000655 \times 0,004)} + \sqrt{(0,000561 \times 0,001)} + \\ &\quad \sqrt{(1,197368 \times 0,059)} + \sqrt{(2,052612 \times 0,266)} + \sqrt{(1,425429 \times 0,148)} \\ &= 1,4824 \text{ lb/ft.s} = 2,206 \text{ kg/m.s} = 2,206 \text{ Pas}\end{aligned}$$

Asumsi : aliran viskos ($N_{re} < 2100$)

$$\begin{aligned}\text{Dioptimum} &= 0,133 \times mv^{0,4} \times \mu f^{0,2} \\ &= 0,133 \times (1,1599 \times 10^{-5})^{0,4} \times (2,206)^{0,2} \\ &= 1,6533 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,0651 \text{ in} = 0,0054 \text{ ft}\end{aligned}$$

Dipilih *commercial steel pipe* berukuran 1/8 in sch 80 App.A.5-1^[3]

$$ID = 0,215 \text{ in} = 5,461 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,0179 \text{ ft}$$

$$OD = 0,405 \text{ in}$$

$$A = 0,00025 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan linear } (v_2) = (4,096 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{s}) / (1/4 \times \pi \times (0,0054 \text{ ft})^2) = 17,7357 \text{ ft/s}$$

$$\begin{aligned}N_{re} &= (\rho \times v \times ID) / \mu \\ &= (75,8913 \times 17,7357 \times 0,0179) / 1,4824 \\ &= 16,2677 \text{ (viskos)}\end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan aliran yang viskos, maka asumsi benar

$$\text{Kecepatan alir } (v_1) = 0$$

Dengan persamaan Bernoulli :

$$(v_2^2 - v_1^2) / (2 \times \alpha \times g_c) + g \times (z_2 - z_1) / g_c + (P_2 - P_1) / \rho + \sum F + W_s = 0$$

Dimana $\sum F$ merupakan *total friktional losses*, meliputi :

1. *losses* karena kontraksi
2. *losses* karena friksi pada pipa lurus

3. *losses* karena friksi pada *elbow* dan *valve*

Perhitungan $\sum F$:

1. *Losses* karena kontraksi

$$K_c = 0,55 \times (1 - A_2/A_1)$$

Karena $A_1 \gg A_2$, maka A_2/A_1 diabaikan

$$K_c = 0,55 \times (1 - 0) = 0,55$$

$$h_c = K_c \times (v^2 / (2 \times g_c \times \alpha)) = 0,55 \times (17,7357^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5)) = 5,3772 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. *Losses* karena friksi pada pipa lurus F_f

Digunakan *commercial steel pipe*

Dari Fig. 2.10-3^[3] didapat $f = 0,2$

Diambil panjang pipa lurus (ΔL) = 5 in = 16,404 ft

$$\begin{aligned} F_f &= 4 \times f \times \Delta L \times v^2 / (D \times 2 \times g_c) \\ &= 4 \times 0,2 \times 16,404 \times 17,7357^2 / (0,0179 \times 2 \times 32,174) \\ &= 3580,5312 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

3. *Losses* karena friksi pada *elbow* dan *valve*

Terdapat 1 *gate valve*, 1 *globe valve*, dan 3 *elbow* 90°

Dari Tabel 2.10-1^[3] diketahui:

$$K_f(\text{gate valve}) = 0,17$$

$$K_f(\text{globe valve}) = 6,0$$

$$K_f(\text{elbow } 90^\circ) = 0,75$$

$$\begin{aligned} h_f &= K_f \times (v^2 / (2 \times \alpha \times g_c)) \\ &= (0,17 \times 17,7357^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5)) + (6,0 \times 17,7357^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5)) + (3 \times \\ &\quad (0,75 \times 17,7357^2 / (2 \times 32,174 \times 0,5))) \end{aligned}$$

$$= 82,3195 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum F = 5,3772 + 3580,5312 + 82,3195 = 3668,2278 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$(v_2^2 - v_1^2) / (2 \times \alpha \times g_c) + g \times (z_2 - z_1) / g_c + (P_2 - P_1) / \rho + \sum F + W_s = 0$$

$$(17,7357^2 - 0) / (2 \times 0,5 \times 32,174) + 32,174 \times 6,5616 / 32,174 + 0 + 3668,2278 + W_s = 0$$

$$-W_s = 3684,5661 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$m = q \times \rho = 4,096 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{s} \times 75,8913 \text{ lb/ft}^3 = 0,0311 \text{ lb/s}$$

$$\text{Dari Tabel 12-4}^{[9]} : \eta = 60\% = 0,6$$

$$\text{Brake hp} = -W_s \times m / (\eta \times 550)$$

$$= 3684,5661 \times 0,0311 / (0,6 \times 550)$$

$$= 0,3471 \text{ hp}$$

C.8 Ayakan

Fungsi : untuk menyeragamkan ukuran tepung papain bersih

Tipe : *vibrating screen*

Dasar pemilihan : memiliki kemampuan mengayak secara cepat disertai dengan getaran

Kapasitas : $30,3319 \text{ kg/hari} = 0,0303 \text{ ton/hari}$

Pada *vibrating screen*, biasa dipakai 1800-3600 vibrasi per menit^[5]

Kapasitas *actual screen* = $0,2-0,8 \text{ ton/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm.meshsize}$ ^[5]

Standarisasi ukuran *screen*^[1]

- lebar = 3-4 ft
- panjang = 8-10 ft

Ditetapkan:

- diameter partikel = 90 *mesh* = 0,625 mm

- dipakai 3000 vibrasi per menit
- kapasitas *actual screen* 0,4 ton/ft².h.mm.meshsize

$$\begin{aligned}\text{Luas area yang dibutuhkan} &= (0,0303 \text{ ton/hari}) / (0,4 \text{ ton/ft}^2 \cdot \text{h.mm.meshsize}) \\ &= 0,0758 \text{ ft}^2 \cdot \text{h.mm.meshsize}\end{aligned}$$

- diambil ukuran *screen* = 3 x 8 ft
- *power* = 4 hp^[5]

Spesifikasi *Screen* :

Kapasitas proses = 0,0303 ton/hari

Ukuran *screen* = 3 x 8 ft

Diameter partikel = 90 *mesh* = 0,625 mm

Jumlah vibrasi = 3000 vibrasi/menit

Power = 4 hp

Jumlah = 1 buah

C.9 *Spray Dryer*

Perancangan *spray dryer* dibahas secara khusus pada Appendix E.

APPENDIX D**PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI****D.1 Penentuan *Total Capital Investment* (TCI)****D.1.1 Penentuan *Fixed Capital Investment* (FCI)****Direct Costs**

➤ Peralatan

Tabel D.1 Harga peralatan

Nama alat	Harga/unit	Unit	Harga
<i>Mixer I</i>	17.250.000	1	17.250.000
<i>Mixer II</i>	21.750.000	1	21.750.000
Saringan	2.125.000	1	2.125.000
<i>Plate & Frame</i>	17.500.000	1	17.500.000
<i>Spray Dryer</i>	400.000.000	1	400.000.000
<i>Ball Mill</i>	6.750.000	1	6.750.000
Ayakan	3.100.000	1	3.100.000
Corong Pemasukan	1.500.000	1	1.500.000
Pompa	7.500.000	3	22.500.000
<i>Screw Conveyor</i>	14.000.000	1	14.000.000
Meja Pengemasan	3.500.000	1	3.500.000
Total			509.975.000

Harga peralatan ditetapkan 40% dari FCI

➤ Instalasi

Instalasi merupakan 25% dari harga peralatan, maka :

$$\text{Instalasi} = (25/100) \times 509.975.000 = \text{Rp } 127.493.750,-$$

➤ Instrumentasi dan kontrol

Instrumentasi dan kontrol merupakan 6% dari harga peralatan, maka :

$$\text{Instrumentasi dan kontrol} = (6/100) \times 509.975.000 = \text{Rp } 30.598.500,-$$

➤ *Piping*

Sistem perpipaan yang diperlukan dalam pabrik enzim papain ini ± 130 m, sehingga *piping* ditetapkan 10% dari harga peralatan, maka :

$$Piping = (10/100) \times 509.975.000 = \text{Rp } 50.997.500,-$$

➤ *Electrical*

Electrical merupakan 10% dari harga peralatan, maka :

$$Electrical = (10/100) \times 509.975.000 = \text{Rp } 50.997.500,-$$

➤ *Service facilities and yard improvement*

Service facilities merupakan 40% dari harga peralatan, maka :

$$Service facilities = (40/100) \times 509.975.000 = \text{Rp } 203.990.000,-$$

➤ Tanah

$$\text{Luas tanah} = 1500 \text{ m}^2$$

$$\text{Harga} = \text{Rp } 150000,- / \text{m}^2$$

$$\text{Harga tanah} = \text{Rp } 225.000.000,- \text{ (17,65\% dari FCI)}$$

➤ Bangunan

$$\text{Luas bangunan} = 805,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Harga} = \text{Rp } 500.000,- / \text{m}^2$$

$$\text{Harga bangunan} = \text{Rp } 407.750.000,-$$

Jalan dan halaman

$$\text{Luas jalan dan halaman} = 524,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Harga} = \text{Rp } 200.000,- / \text{m}^2$$

$$\text{Harga pembangunan jalan dan halaman} = \text{Rp } 104.900.000,-$$

$$\text{Harga bangunan total} = 407.750.000 + 104.900.000$$

$$= \text{Rp } 512.650.000,- (40,21\% \text{ dari FCI})$$

$$\text{Total Direct Costs} = \text{Rp } 1.711.702.250,-$$

Indirect Costs

➤ *Engineering and supervision*

Ditetapkan 5% dari *Direct Costs*, maka :

$$\text{Engineering and supervision} = 5\% \times \text{Rp } 1.711.702.250 = \text{Rp } 85.585.113,-$$

➤ *Contingency*

Ditetapkan 5% dari FCI, maka :

$$\text{Contingency} = (5/40) \times \text{Rp } 509.975.000 = \text{Rp } 63.746.875,-$$

$$\text{Total Indirect Costs} = \text{Rp } 149.331.988,-$$

$$\text{FCI} = \text{Direct Costs} + \text{Indirect Costs}$$

$$= \text{Rp } 1.861.034.238,-$$

D.1.2 Penentuan *Work Capital Investment* (WCI)

WCI merupakan 10% dari TCI

$$\text{TCI} = \text{FCI} + \text{WCI}$$

$$= \text{Rp } 1.861.034.238 + 10\% \text{ TCI}$$

$$90\% \text{ TCI} = \text{Rp } 1.861.034.238,-$$

$$\text{TCI} = (100/90) \times \text{Rp } 1.861.034.238$$

$$= \text{Rp } 2.067.815.819,-$$

$$\text{WCI} = 10\% \times \text{Rp } 2.067.815.819 = \text{Rp } 206.781.582,-$$

D.2 Penentuan *Total Production Cost* (TPC)

D.2.1 Penentuan *Manufacturing Cost*

Direct Production Costs

➤ Bahan baku

1. Getah pepaya

Kebutuhan : 30 kg/hari = 8670 kg/tahun

Harga beli : Rp 5.000,00/kg

Harga beli per tahun : Rp 43.350.000,00

2. Thymol

Kebutuhan : 0,06 kg/hari = 17,34 kg/tahun

Harga beli : Rp30.000,00/kg

Harga beli per tahun : Rp 520.200,00

3. Natrium hidrosulfit

Kebutuhan : 0,21 kg/hari = 60,69 kg/tahun

Harga beli : Rp 10.000,00/kg

Harga beli per tahun : Rp 606.900,00

Total harga bahan baku = Rp 44.477.100,-

➤ Utilitas

Listrik = Rp 36.548.332,50

Air = Rp 2.102.933,76

Bahan bakar = Rp 614.125,00

Total biaya utilitas = Rp 39.265.391,-

➤ *Operating Labor*

Direktur Utama = Rp 8.000.000 x 13 x 1 = Rp 104.000.000

Bagian Keuangan = Rp 4.000.000 x 13 x 1 = Rp 52.000.000

Bagian Penjualan dan Pembelian = Rp 2.200.000 x 13 x 1 = Rp 28.600.000

Bagian Administrasi = Rp 2.200.000 x 13 x 1 = Rp 28.600.000

Supervisor = Rp 2.500.000 x 13 x 1 = Rp 32.500.000

Pekerja Proses = Rp 1.000.000 x 13 x 17 = Rp 221.000.000

Pekerja Kebersihan = Rp 400.000 x 13 x 4 = Rp 20.800.000

Keamanan = Rp 900.000 x 13 x 2 = Rp 23.400.000

Sopir = Rp 750.000 x 13 x 2 = Rp 19.500.000

Total gaji = Rp 530.400.000,-

➤ *Direct supervisory and chemical labor*

Merupakan 10% dari total gaji = 10% x Rp 530.400.000 = Rp 53.040.000,-

➤ *Maintenance*

Merupakan 2 % dari FCI = 2% x Rp 1.986.379.263 = Rp 39.727.946,-

➤ *Operating supplies*

Merupakan 10 % dari maintenance = 10% x Rp. 39.727.946 = Rp 3.972.795,-

➤ *Laboratory charges*

Merupakan 10% dari total gaji = Rp 530.400.000 x 10% = Rp 53.040.000,-

Walaupun pada pabrik enzim papain ini tidak disediakan laboratorium, namun biaya laboratorium ini dialokasikan untuk pengendalian kualitas produk dengan menggunakan jasa dari suatu laboratorium independen.

Total Direct Production Costs = Rp 763.923.232,-

Fixed Charges

➤ Depresiasi

Depresiasi alat = $0,1 \times \text{harga peralatan} = \text{Rp } 50.997.500,-$

Depresiasi gedung = $0,02 \times \text{bangunan} = \text{Rp } 10.653.000,-$

Depresiasi total = $\text{Rp } 61.650.500,-$

➤ Pajak lokal

Merupakan 1 % dari FCI = $\text{Rp } 1.986.379.263 \times 1\% = \text{Rp } 19.863.793,-$

➤ Asuransi

Merupakan 0,4 % dari FCI = $\text{Rp } 1.986.379.263 \times 0,4\% = \text{Rp } 7.945.517,-$

Total *Fixed Charges* = $\text{Rp } 89.459.810,-$

Plant-Overhead Cost

Ditetapkan 5% dari TPC

Total *Manufacturing Costs* = $\text{Rp } 853.383.042,- + 0,05 \text{ TPC}$

D.2.2 Penentuan *General Expenses*

➤ *Administrative costs* = $0,02 \text{ TPC}$

➤ *Distribution and selling costs* = $0,02 \text{ TPC}$

➤ *R&D cost* = $0,05 \text{ TPC}$

Walaupun pada pabrik enzim papain ini tidak disediakan laboratorium, namun biaya R&D ini dipersiapkan untuk pengembangan produk dengan cara kerja sama dengan suatu laboratorium independen.

➤ Bunga

Pinjaman = Rp 206.781.582,- (10% dari TCI)

Bunga = 18 % x Rp 206.781.582 = Rp 37.220.685,-

Total General Expenses = Rp 37.220.685,- + 0,09 TPC

TPC = *Manufacturing Costs + General Expenses*

= Rp 890.603.727,- + 0,14 TPC

= Rp 1.035.585.729,-

D.3 Perhitungan *Cashflow*

➤ Penjualan

Enzim papain (tepung) = Rp 5.000 x 1200 *pack*/hari x 289 hari/ tahun

= Rp 1.734.000.000

Total penjualan = Rp 1.734.000.000,-

➤ Biaya operasi

Biaya operasi = TPC – (depresiasi + pajak lokal + asuransi) = Rp 946.125.919,-

keterangan : Saat kapasitas produksi 80%, gaji karyawan tetap 100%, sehingga biaya operasinya adalah 80%TPC (kecuali gaji tetap 100%) dikurangi depresiasi, pajak lokal, dan asuransi, begitu juga saat kapasitas produksi 90%.

- Laba kotor = penjualan – biaya operasi – depresiasi – bunga
- Pajak menggunakan peraturan pada tahun 2001
- Laba bersih = laba kotor – pajak
- *Net cash flow* sebelum pajak = laba kotor + depresiasi + pokok & bunga
- *Net cash flow* = laba bersih + depresiasi + pokok & bunga

Dengan metode *Discounted Cash Flow*, didapatkan data seperti di bawah ini :

Tabel D.2 Total investasi, penjualan, biaya operasi, dan laba kotor

Tahun	Produksi	Total investasi	Penjualan	Biaya operasi	Laba kotor
-1	0	1,488,827,390			
0	0	616,209,114	0		
1	80		1,387,200,000	743,251,670.53	538,377,421.48
2	90		1,560,600,000	833,464,194.95	625,956,937.85
3	100		1,734,000,000	946,125,919.00	691,087,254.60
4	100		1,734,000,000	946,125,919.00	695,479,295.40
5	100		1,734,000,000	946,125,919.00	699,871,336.20
6	100		1,734,000,000	946,125,919.00	704,263,377.00
7	100		1,734,000,000	946,125,919.00	708,655,417.80
8	100		1,734,000,000	946,125,919.00	713,047,458.60
9	100		1,734,000,000	946,125,919.00	717,439,499.40
10	100		1,734,000,000	946,125,919.00	721,831,540.20

Tabel D.3 Pajak, laba bersih, *net cashflow* sebelum pajak dan sesudah pajak

Tahun	Produksi	Pajak	Laba bersih	<i>Net cash flow</i> sebelum pajak	<i>Net cash flow</i>
-1	0				
0	0				
1	80	149,682,097.52	388,695,323.96	531,707,286.82	382,025,189.30
2	90	180,334,928.25	445,622,009.60	623,678,843.99	443,343,915.74
3	100	203,130,539.11	487,956,715.49	693,201,201.54	490,070,662.43
4	100	204,667,753.39	490,811,542.01	701,985,283.14	497,317,529.75
5	100	206,204,967.67	493,666,368.53	710,769,364.74	504,564,397.07
6	100	207,742,181.95	496,521,195.05	719,553,446.34	511,811,264.39
7	100	209,279,396.23	499,376,021.57	728,337,527.94	519,058,131.71
8	100	210,816,610.51	502,230,848.09	737,121,609.54	526,304,999.03
9	100	212,353,824.79	505,085,674.61	745,905,691.14	533,551,866.35
10	100	213,891,039.07	507,940,501.13	754,689,772.74	540,798,733.67

Berdasarkan tabel D.2 dan D.3 maka dapat diketahui besarnya *Rate of Return* (ROR) dan *Rate of Equity* (ROE) baik sebelum pajak maupun sesudah pajak. ROR ditampilkan pada tabel D.4 dan D.5, sedangkan ROE ditampilkan pada tabel D.6 dan D.7.

Tabel D.4 ROR (*Rate of Return*) sebelum pajak

Tahun	Net cash flow sebelum pajak		i
0	(2,105,036,504)		
1	531,707,286.82	413,908,833	0.2846
2	623,678,843.99	377,942,018	0.2846
3	693,201,201.54	327,005,874	0.2846
4	701,985,283.14	257,784,225	0.2846
5	710,769,364.74	203,183,816	0.2846
6	719,553,446.34	160,123,676	0.2846
7	728,337,527.94	126,170,337	0.2846
8	737,121,609.54	99,402,155	0.2846
9	745,905,691.14	78,301,965	0.2846
10	754,689,772.74	61,672,178	0.2846
		2,105,495,077	

ROR sebelum pajak = 28,46 %

Tabel D.5 ROR (*Rate of Return*) sesudah pajak

Tahun	Net cash flow sesudah pajak		i
0	2,105,036,504		
1	382,025,189.30	322,792,724	0.1835
2	443,343,915.74	316,522,238	0.1835
3	490,070,662.43	295,633,686	0.1835
4	497,317,529.75	253,489,934	0.1835
5	504,564,397.07	217,307,788	0.1835
6	511,811,264.39	186,251,709	0.1835
7	519,058,131.71	159,601,939	0.1835
8	526,304,999.03	136,738,684	0.1835
9	533,551,866.35	117,128,419	0.1835
10	540,798,733.67	100,312,036	0.1835
		2,105,779,158	

ROR sesudah pajak = 18,35 %

Tabel D.6 ROE (*Rate of Equity*) sebelum pajak

Tahun	Net cash flow sebelum pajak		i
0	(1,861,034,237)		
1	531,707,286.82	400,593,149	0.3273
2	623,678,843.99	354,015,945	0.3273
3	693,201,201.54	296,450,388	0.3273
4	701,985,283.14	226,178,662	0.3273
5	710,769,364.74	172,537,392	0.3273
6	719,553,446.34	131,597,758	0.3273
7	728,337,527.94	100,357,313	0.3273
8	737,121,609.54	76,522,013	0.3273
9	745,905,691.14	58,339,415	0.3273
10	754,689,772.74	44,471,064	0.3273
		1,861,063,101	

ROE sebelum pajak = 32,73 %

Tabel D.7 ROE (*Rate of Equity*) sesudah pajak

Tahun	Net cash flow sesudah pajak		i
0	(1,861,034,237)		
1	382,025,189.30	313,726,853	0.2177
2	443,343,915.74	298,992,394	0.2177
3	490,070,662.43	271,417,463	0.2177
4	497,317,529.75	226,189,554	0.2177
5	504,564,397.07	188,458,215	0.2177
6	511,811,264.39	156,988,559	0.2177
7	519,058,131.71	130,747,640	0.2177
8	526,304,999.03	108,871,711	0.2177
9	533,551,866.35	90,638,746	0.2177
10	540,798,733.67	75,445,372	0.2177
		1,861,476,506	

ROE sesudah pajak = 21,77 %

D.4 Perhitungan *Pay Out Time* (POT)

Tabel D.8 POT (*Pay Out Time*) sebelum pajak

Tahun	Net Cash Flow	Kumulatif
0		0
1	531,707,286.82	531,707,286.82
2	623,678,843.99	1,155,386,130.81
3	693,201,201.54	1,848,587,332.35
4	701,985,283.14	2,550,572,615.49
5	710,769,364.74	3,261,341,980.24
6	719,553,446.34	3,980,895,426.58
7	728,337,527.94	4,709,232,954.52
8	737,121,609.54	5,446,354,564.05
9	745,905,691.14	6,192,260,255.19
10	754,689,772.74	6,946,950,027.93

Total investasi pada masa akhir konstruksi = Rp 2.105.036.504

Dengan cara interpolasi didapatkan :

POT sebelum pajak = 3 tahun 5 bulan

Tabel D.9 POT (*Pay Out Time*) sesudah pajak

Tahun	Net Cash Flow	Kumulatif
0		0
1	382,025,189.30	382,025,189.30
2	443,343,915.74	825,369,105.04
3	490,070,662.43	1,315,439,767.48
4	497,317,529.75	1,812,757,297.23
5	504,564,397.07	2,317,321,694.30
6	511,811,264.39	2,829,132,958.69
7	519,058,131.71	3,348,191,090.40
8	526,304,999.03	3,874,496,089.42
9	533,551,866.35	4,408,047,955.77
10	540,798,733.67	4,948,846,689.44

Total investasi pada masa akhir konstruksi = Rp 2.105.036.504

Dengan cara interpolasi didapatkan

POT sesudah pajak = 4 tahun 7 bulan

D.5 Perhitungan *Break Even Point* (BEP)

Cf = Depresiasi + asuransi = Rp 69.596.017

$$C_{sv} = \text{Biaya operasi} - (\text{bahan baku} + \text{utilitas} + \text{asuransi}) = \text{Rp } 854.437.911$$

$$\text{Laba sebelum pajak} = C_f + 0,3 C_{sv} = \text{Rp } 325.927.390,30$$

Kapasitas	Net Cash flow
0%	(325,927,390.30)
BEP	0
80%	531,707,286.82

Dengan cara interpolasi didapatkan $BEP = 38 \%$

D.6 Perhitungan *Net Present Worth*

Tabel D.10 *Net Present Worth*

Tahun	Net cash flow sebelum pajak	Npj	$((e^r - 1)/r) * e^{-(r*j)}$	rec	Present Worth
1	531,707,286.82	504697476.6	0.920299904	0	578653681.5
2	623,678,843.99	596669033.8	0.777608707	0	560452130.7
3	693,201,201.54	666191391.3	0.657041577	0	519233900.5
4	701,985,283.14	674975472.9	0.555168211	0	443604062
5	710,769,364.74	683759554.5	0.469090165	0	378944406.3
6	719,553,446.34	692543636.1	0.396358399	0	323671256.9
7	728,337,527.94	701327717.7	0.33490359	0	276428307.1
8	737,121,609.54	710111799.3	0.282977263	0	236054184.7
9	745,905,691.14	718895880.9	0.239102038	0	201554609.2
10	754,689,772.74	727679962.5	0.202029606	0	172078496.9

$$\text{Total Present Worth} = \text{Rp } 3.694.800.539,-$$

APPENDIX E

TUGAS KHUSUS

PERANCANGAN *SPRAY DRYER*

E.1 Alasan Pemilihan *Spray Dryer* Pada Pembuatan Enzim Papain

Pada pabrik pembuatan enzim papain, proses *drying* diperlukan untuk mengeringkan bubur getah papain (*slurry*) sehingga kemudian dapat dihasilkan produk enzim papain dalam bentuk padatan. Dalam bentuk padatan, enzim memiliki stabilitas yang lebih baik bila dibandingkan dengan bentuk cairan. Hal ini sangat dibutuhkan untuk menjaga agar aktivitas enzim tidak menurun dengan cepat sehingga produk dapat menjadi lebih awet dan tahan lama. Kualitas produk dapat tetap terjaga sampai konsumen menerima dan menggunakan produk tersebut. Produk enzim cenderung sensitif terhadap panas, termasuk enzim papain, sedangkan proses *drying* dapat terjadi pada suhu yang cukup tinggi, maka dibutuhkan jenis *dryer* yang sesuai untuk diaplikasikan pada enzim papain.

Jenis *dryer* yang sesuai digunakan untuk produk enzim papain adalah *direct dryer* di mana digunakan udara untuk mengurangi kandungan air dalam produk. Dengan menggunakan *direct dryer*, maka proses *drying* akan terjadi dengan lebih merata pada produk, sehingga produk yang dihasilkan memiliki kandungan air yang merata. Jenis *direct dryer* yang sesuai digunakan untuk enzim papain adalah *spray dryer*. Dengan menggunakan *spray dryer* dapat dihasilkan bentuk dan kualitas produk yang baik. Pada *spray dryer*, enzim papain yang dikeringkan akan keluar dalam bentuk bubuk dan enzim tidak akan mengalami kerusakan akibat panas yang berlebihan ^[23].

E.2 Sifat Fisik dan Kimia Papain

Sifat fisik dan kimia papain antara lain ^[6]:

- berbentuk serbuk atau kristal segienam
- berwarna putih atau agak coklat
- mempunyai rasa dan bau yang khas

- terlarut dalam air
- tidak mengandung karbohidrat
- berat molekulnya 21000 g/gmol
- stabil pada suhu tinggi (80-100,2°C) dengan pH 4,5-10,5
- titik isoelektriknya pada pH 8,75
- cepat menjadi inaktif pada suhu tinggi bila pH asam (kurang dari 4)

E.3 Perancangan *Spray Dryer*

Fungsi : untuk mengeringkan enzim papain basah menjadi enzim papain kering yang berupa bubuk atau tepung

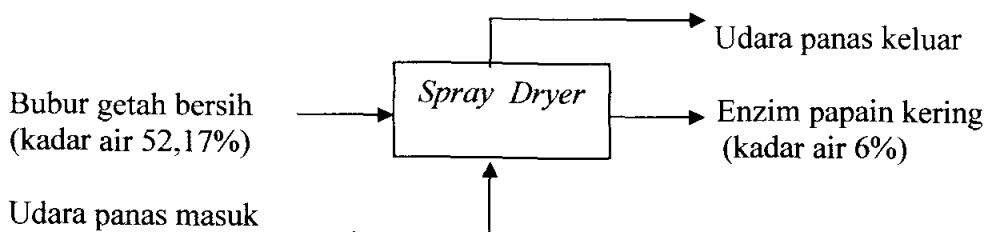
Tipe : bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk *dished head*

Kapasitas : 50,76 kg/hari

Kondisi operasi : Tekanan operasi = 1 atm
Suhu feed masuk = 30°C
Suhu udara panas masuk = 100°C

Basis perhitungan : 1 hari

Neraca Massa *Spray Dryer*



Tepung papain bersih memiliki kadar air 1-6% ^[10].

Oleh karena itu, enzim papain basah dengan kadar air 52,17% harus dikeringkan sampai kadar airnya hanya 6%.

Bubur getah bersih :

- $\text{NaHSO}_3 = 0,21 \text{ kg}$

- $C_{10}H_{14}O = 0,06 \text{ kg}$
- $H_2O = 26,49 \text{ kg}$
- papain = 3 kg
- khimopapain = 13,5 kg
- lizozim = 7,5 kg

Massa total bubur getah bersih = 50,76 kg

Padatan dalam bubur getah bersih = $(3+13,5+7,5) \text{ kg} = 24 \text{ kg}$

Cairan dalam bubur getah bersih = $(0,21+0,06+26,49) \text{ kg} = 26,76 \text{ kg}$

Efisiensi (η) *spray dryer* untuk *slurry* sebesar 99% ^[37]

Papain dalam enzim papain kering = $99\% \times 3 \text{ kg} = 2,97 \text{ kg}$

Khimopapain dalam enzim papain kering = $99\% \times 13,5 \text{ kg} = 13,365 \text{ kg}$

Lizozim dalam enzim papain kering = $99\% \times 7,5 \text{ kg} = 7,425 \text{ kg}$

Padatan dalam enzim papain kering = $(2,97+13,365+7,425) \text{ kg} = 23,76 \text{ kg}$

Cairan dalam enzim papain kering = $\frac{6}{94} \times 23,76 \text{ kg} = 1,5166 \text{ kg}$

Air dalam enzim papain kering = $(26,49/26,76) \times 1,5166 \text{ kg} = 1,5013 \text{ kg}$

$NaHSO_3$ dalam enzim papain kering = $(0,21/26,76) \times 1,5166 \text{ kg} = 0,0119 \text{ kg}$

Thymol dalam enzim papain kering = $(0,06/26,76) \times 1,5166 \text{ kg} = 0,0034 \text{ kg}$

Papain terikut dalam udara panas = $(3 - 2,97) \text{ kg} = 0,03 \text{ kg}$

Khimopapain terikut dalam udara panas = $(13,5 - 13,365) \text{ kg} = 0,135 \text{ kg}$

Lizozim terikut dalam udara panas = $(7,5 - 7,425) \text{ kg} = 0,075 \text{ kg}$

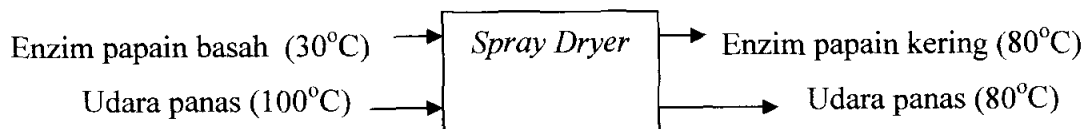
Air yang menguap = $(26,49 - 1,5013) \text{ kg} = 24,9887 \text{ kg}$

$NaHSO_3$ terikut dalam udara panas = $(0,21 - 0,0119) \text{ kg} = 0,1981 \text{ kg}$

Thymol terikut dalam udara panas = $(0,06 - 0,0034) \text{ kg} = 0,0566 \text{ kg}$

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Enzim papain basah :		Enzim papain kering :	
- NaHSO_3	0,21	- NaHSO_3	0,0119
- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,06	- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0034
- H_2O	26,49	- H_2O	1,5013
- papain	3	- papain	2,97
- khimopapain	13,5	- khimopapain	13,365
- lizozim	7,5	- lizozim	7,425
Udara panas masuk :	172,2344	Udara panas keluar :	172,2344
		Bahan yang terikut :	
		- H_2O	24,9887
		- NaHSO_3	0,1981
		- $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0,0566
		- papain	0,03
		- khimopapain	0,135
		- lizozim	0,075
Total	222,9944	Total	222,9944

Neraca Panas *Spray Dryer*



Asumsi : $Q_{\text{loss}} = 0,05 \times \Delta H$ udara masuk (karena panas yang disuplai dari udara panas masuk jauh lebih besar dari panas yang dimiliki bahan masuk).

Udara yang masuk dari *burner* memiliki *humidity* $0,02125 \text{ kg H}_2\text{O/ kg udara kering}$ (didapat dari utilitas unit penyediaan udara panas).

Udara masuk terdiri dari udara kering (x) dan H_2O (y)

$$y = 0,02125x = 0,02125 \cdot 172,2344 = 3,3764 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\% \text{H}_2\text{O} = \frac{3,3764}{172,2344 + 3,3764} \times 100\% = 2\%$$

Karena persentase H_2O dalam udara panas masuk sangat kecil (2%), maka dapat diasumsi bahwa udara panas masuk *spray dryer* adalah udara kering.

Mencari Cp udara rata-rata pada 30°C hingga 100°C

Karena udara panas yang masuk diasumsi udara kering sehingga data dari Appendix A.3-3^[3] untuk udara kering dapat dipakai:

T, °C	Cp, kJ/kg.°C
30	1,0048
40	1,0051
50	1,0066
60	1,0082
70	1,009
80	1,009
90	1,009
100	1,01

Cp rata-rata dihitung dengan metode trapezoidal^[38].

$$\begin{aligned}
 C_{p\text{udara rata-rata}} &= \frac{\frac{\Delta T}{2} (1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009 + 1,009 + 1,009) + 1,01)}{T_2 - T_1} \\
 &= \frac{\frac{10}{2} (1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009 + 1,009 + 1,009) + 1,01)}{100 - 30} \\
 &= 1,0078 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Mencari Cp udara rata-rata pada 30°C hingga 80°C

$$\begin{aligned}
 C_{p\text{udara rata-rata}} &= \frac{\frac{\Delta T}{2} (1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009) + 1,009)}{T_2 - T_1} \\
 &= \frac{\frac{10}{2} (1,0048 + 2(1,0051 + 1,0066 + 1,0082 + 1,009) + 1,009)}{80 - 30} \\
 &= 1,0072 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Enthalpi bahan masuk *spray dryer* (pada suhu 30°C)

Enzim papain basah :

- Massa $\text{NaHSO}_3 = 0,21 \text{ kg} = 0,002 \text{ kmol}$

$$T_{\text{ref}} = 288^\circ\text{K}$$

Untuk NaHSO_3 diperoleh nilai a, b, c, d sebesar^[39]:

$$a = 121 \quad b = 0 \quad c = 0 \quad d = 0$$

$$C_p^* \text{ NaHSO}_3 = a \times (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \times (T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3} (T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4} (T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 121 \times (303 - 288) + 0 + 0 + 0 = 1815 \text{ kJ/kmol}$$

$$\text{Enthalpi NaHSO}_3 = 0,002 \text{ kmol} \times 1815 \text{ kJ/kmol}$$

$$= 3,6649 \text{ kJ}$$

- Massa $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,06 \text{ kg} = 0,0004 \text{ kmol}$

$$T_{\text{ref}} = 0^\circ\text{C}$$

Untuk $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$ diperoleh nilai a, b, c, d sebesar ^[39]:

$$a = 139,2 \quad b = 53,76 \times 10^{-2} \quad c = -39,79 \times 10^{-5} \quad d = 120,5 \times 10^{-9}$$

$$C_p^* \text{ C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = a \times (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \times (T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3} (T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4} (T_2^4 - T_1^4)$$

$$139,2 \times (30 - 0) + \frac{53,76 \times 10^{-2}}{2} \times (30^2 - 0^2) + \frac{-39,79 \times 10^{-5}}{3} \times (30^3 - 0^3) + \frac{120,5 \times 10^{-9}}{4} \times (30^4 - 0^4)$$

$$= 4414,363 \text{ kJ/kmol}$$

$$\text{Enthalpi C}_{10}\text{H}_{14}\text{O} = 0,0004 \text{ kmol} \times 4414,363 \text{ kJ/kmol}$$

$$= 1,7657 \text{ kJ}$$

- Massa $\text{H}_2\text{O} = 26,49 \text{ kg} = 1,4717 \text{ kmol}$

$$T_{\text{ref}} = 273^\circ\text{K}$$

Untuk H_2O diperoleh nilai a, b, c, d sebesar ^[39]:

$$a = 18,3 \quad b = 47,21 \times 10^{-2} \quad c = -133,9 \times 10^{-4} \quad d = 1314,2 \times 10^{-9}$$

$$C_p^* \text{ H}_2\text{O} = a \times (T_2 - T_1) + \frac{b}{2} \times (T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3} (T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4} (T_2^4 - T_1^4)$$

$$18,3 \times (303 - 273) + \frac{47,21 \times 10^{-2}}{2} \times (303^2 - 273^2) + \frac{-133,9 \times 10^{-4}}{3} \times (303^3 - 273^3) + \frac{1314,2 \times 10^{-9}}{4} \times (303^4 - 273^4)$$

$$= 2237,992 \text{ kJ/kmol}$$

$$\text{Enthalpi H}_2\text{O} = 1,4717 \text{ kmol} \times 2237,992 \text{ kJ/kmol} = 3293,578 \text{ kJ}$$

$C_p^* = \text{enthalpi/kmol dari bahan}$

- Massa papain = 3 kg

$$C_p \text{ papain} = 1,80 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K} \text{ [40]}$$

$$\begin{aligned}\text{Enthalpi papain} &= 3 \text{ kg} \times 1,80 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K} \times (303-273) ^\circ\text{K} \\ &= 162 \text{ kJ}\end{aligned}$$

- Massa khimopapain = 13,5 kg

$$C_p \text{ khimopapain} = 3,09 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}^{[40]}$$

$$\begin{aligned}\text{Enthalpi khimopapain} &= 13,5 \text{ kg} \times 3,09 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K} \times (303-273) ^\circ\text{K} \\ &= 1251,45 \text{ kJ}\end{aligned}$$

- Massa lizozim = 7,5 kg

$$C_p \text{ lizozim} = 2,14 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}^{[40]}$$

$$\begin{aligned}\text{Enthalpi lizozim} &= 7,5 \text{ kg} \times 2,14 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K} \times (303-273) ^\circ\text{K} \\ &= 481,5 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ bahan masuk} = 5193,958 \text{ kJ}$$

Mencari C_p uap air rata-rata pada 30°C hingga 80°C

Dari Tabel C.1 ^[41] didapat:

T, $^\circ\text{C}$	T, $^\circ\text{K}$	C_p/R , J/gr. $^\circ\text{K}$
30	303	4,0401
40	313	4,0474
50	323	4,0543
60	333	4,062
70	343	4,0702
80	353	4,079

$$R = 8,314 \text{ J/gmol} \cdot ^\circ\text{K}$$

C_p rata-rata dihitung dengan metode trapezoidal ^[38].

$$\begin{aligned}C_{p \text{ uap air rata-rata}} &= \frac{\frac{\Delta T}{2} (4,0401 + 2(4,0474 + 4,0543 + 4,062 + 4,0702) + 4,079)}{T_2 - T_1} \times R \\ &= \frac{\frac{10}{2} (4,0401 + 2(4,0474 + 4,0543 + 4,062 + 4,0702) + 4,079)}{353 - 303} \times 8,314 \\ &= 33,7449 \text{ J/gr} \cdot ^\circ\text{K} \\ &= 1,8747 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Enthalpi bahan keluar *spray dryer* (pada suhu 80°C)

Dengan cara yang sama seperti perhitungan enthalpi bahan masuk, namun pada suhu keluar 80°C :

ΔH bahan keluar = 5505,305 kJ

ΔH udara masuk = m udara x Cp udara rata-rata x (T udara masuk-Tref)
= m_u x 1,0078 x (100-30)
= 70,546 m_u kJ

ΔH uap air keluar = m uap air x Cp uap air rata-rata x (T uap air keluar-Tref)
= 24,9887 x 1,8747 x (80-30)
= 2342,3158 kJ

ΔH bahan yang terikut uap air = 215,5382 kJ

ΔH uap air keluar + bahan yang terikut = (2342,3158 + 215,5382) kJ = 2557,855 kJ

ΔH udara keluar = m udara x Cp udara rata-rata x (T udara keluar-Tref)
= m_u x 1,0072 x (80-30)
= 50,36 m_u kJ

$Q_{in} = Q_{out} + Q_{loss}$

5193,958 + 70,546 m_u = 5505,305 + 2557,855 + 50,36 m_u + (70,546 m_u x 0,05)
m_u = 172,2344 kg

Jadi :

ΔH udara masuk = 12150,4480 kJ

ΔH udara keluar = 8673,7244 kJ

$Q_{loss} = 607,5224$ kJ

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
ΔH bahan masuk	5193,958	ΔH bahan keluar	5505,305
ΔH udara masuk	12150,4480	ΔH uap air + bahan terikut	2557,855
		ΔH udara keluar	8673,7244
		Q_{loss}	607,5224
Total	17344,406	Total	17344,406

Perancangan *Spray Dryer*

Kondisi : Suhu udara masuk = 100°C

Suhu *feed* masuk = 30°C

Tekanan operasi = 1 atm

Suhu operasi = 80°C

Udara panas bersuhu 100°C digunakan agar penguapan air dalam enzim papain basah berjalan cepat dan pengeringan berlangsung optimal. Enzim papain tidak akan rusak atau menjadi inaktif pada suhu tersebut sebab pada tahap pencampuran awal telah ditambahkan natrium hidrosulfit yang akan membantu menciptakan suasana basa dimana papain dapat tetap stabil.

Feed masuk terdiri dari :

Cairan = 0,21 + 0,06 + 26,49 = 26,76 kg/hari = 1,115 kg/jam

Padatan = 3 + 13,5 + 7,5 = 24 kg/hari = 1 kg/jam

Kadar air mula-mula = $26,49 \times 100\% / 26,76 = 52,72\%$

Dari perhitungan neraca massa:

H₂O yang menguap = 24,9887 kg/hari = 1,0412 kg/jam

Tepung keluar sebagai produk = 25,2766 kg/hari = 1,0532 kg/jam

Kadar air dalam produk = 5,94%

Laju pengeringan = air yang menguap = 24,9887 kg/hari = 1,0412 kg/jam

Suhu udara masuk = 100°C

Berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih ^[8]:

Volume *chamber* = 100 ft³

Diameter = 6,5 ft = 1,9812 m

Lubang pengeluaran = 5 in = 0,4167 ft ^[42]

Tinggi *shell* = 0,4 x D = 2,6 ft = 0,7925 m ^[8]

Volume silinder = $\pi/4 \times D^2 \times H_s = \pi/4 \times 6,5^2 \times 2,6 = 86,23 \text{ ft}^3$

Volume konis = volume *chamber* – volume silinder

$$= 100 - 86,23$$

$$= 13,77 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \pi/4 \times hc \times (D^2 + DM + M^2)$$

$$13,77 = \frac{1}{3} \times \pi/4 \times hc \times (6,5^2 + 6,5 \times 1 + 1^2)$$

$$hc = 1,0576 \text{ ft} = 0,3224 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + hc = 0,7925 + 0,3224 = 1,1149 \text{ m}$$

$$\text{Waktu pengeringan total : } T = 17 \times (L/S)^{142}$$

L/S = perbandingan massa dari cairan terhadap *solid* dalam *feed*

$$T = 17 \times (1,115 \text{ kg/jam} / 1 \text{ kg/jam}) = 18,96 \text{ s}$$

Volume yang dibutuhkan untuk pengeringan tersebut :

Volume = waktu tinggal x total *rate* gas

$$\rho \text{ udara pada suhu } 100^\circ\text{C} = 0,9474 \text{ kg/m}^3 \text{ [3]}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volume udara} &= 172,2344 \text{ kg/hari} / 0,9474 \text{ kg/m}^3 = 181,7969 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 7,5749 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Air yang diuapkan} = 24,9887 \text{ kg/hari} = 1,0411 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ uap air pada } 80^\circ\text{C} = 0,5849 \text{ kg/m}^3 \text{ [3]}$$

$$\text{Rate volumetrik air yang menguap} = 1,0411 \text{ kg/jam} / 0,5849 \text{ kg/m}^3 = 1,7801 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Total aliran gas meninggalkan } \textit{dryer} &= \text{rate udara} + \text{rate uap air} \\ &= 7,5749 \text{ m}^3/\text{jam} + 1,7801 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 9,3550 \text{ m}^3/\text{jam} = 2,5986 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Volume} = 18,96 \text{ s} \times 2,5986 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0,0493 \text{ m}^3$$

Pengecekan terhadap volume *chamber* :

$$\text{Volume } \textit{chamber} = 100 \text{ ft}^3 = 2,8318 \text{ m}^3 > 0,0493 \text{ m}^3 \text{ sehingga air yang diuapkan dapat tercapai.}$$

Gaya yang bekerja pada bagian konis :

$$F = m \times g$$

Dimana : m = massa tepung, kg

g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

$$\text{Kecepatan produk} = 25,2766 \text{ kg/hari} = 2,9255 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\text{Densitas partikel} = 0,342 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat partikel pada daerah konis} = 0,342 \text{ kg/m}^3 \times 13,77 \text{ ft}^3 \times 0,0228317 \text{ m}^3/\text{ft}^3$$

$$m = 0,1075 \text{ kg}$$

$$F = 0,1075 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 1,0535 \text{ N}$$

Luas permukaan yang mengalami tekanan karena berat bahan

$$A_{\text{benda}} = A_1 - A_2$$

Dimana : A_1 = luas selimut konis tanpa lubang pengeluaran

A_2 = luas selimut konis dengan diameter lubang pengeluaran (do)

$$A_{\text{benda}} = \frac{1}{2} \times \pi \times di \times S_1 - \frac{1}{2} \times \pi \times do \times S_2$$

S_1 = panjang sisi miring konis tanpa lubang pengeluaran

S_2 = panjang sisi miring konis dengan lubang pengeluaran

$$\sin 30 = \frac{0,5 \times di}{S_1} = \frac{0,5 \times do}{S_2}$$

di = diameter silinder spray dryer = 6,5 ft

do = diameter lubang pengeluaran *spray dryer* = 0,4167 ft

$$S_1 = 6,5 \text{ ft}$$

$$S_2 = 0,4167 \text{ ft}$$

$$A = (\pi/2 \times S_1 \times S_1) - (\pi/2 \times S_2 \times S_2)$$

$$= 66,3325 - 0,2726$$

$$= 66,0599 \text{ ft}^2 = 6,1372 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{bahan}} = F/A$$

$$= 1,0535 \text{ N} / 6,1372 \text{ m}^2$$

$$= 0,1717 \text{ N/m}^2 = 0,0025 \text{ psia}$$

$$P_{\text{design}} = 1,1 \times (P_{\text{operasi}} + P_{\text{bahan}})$$

$$= 1,1 \times (14,7 + 0,0025)$$

$$= 16,1727 \text{ psia}$$

Menghitung tebal *shell* :

Untuk *shell*, tutup bagian bawah dan tutup bagian atas dipilih bahan konstruksi *stainless steel SA-240 grade C* [2].

$$f = 18750 \text{ psia}$$

$$E = 0,85 \text{ (single welded butt joint)}$$

$$C = 1/8 \text{ in} = 0,125 \text{ in}$$

$$r_i = 3,25 \text{ ft} = 39 \text{ in} = 0,9906 \text{ m}$$

Tebal *shell* ^[2]:

$$\begin{aligned} t_s &= (P \times r_i) / (f \times E - 0,6 \times P) + C \\ &= (16,1727 \times 3,25) / (18750 \times 0,85 - 0,6 \times 16,1727) + 0,125 \\ &= 0,1283 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tebal konis ^[2]:

$$\text{Tebal konis} = (P \times L \times W) / (2 \times f \times E - 0,2 \times P) + C$$

$$L = d_i / (2 \cos \alpha)$$

$$d_i = D - 2 \times i_{cr} (1 - \cos \alpha)$$

$$D = 6,5 \text{ ft} = 78 \text{ in}$$

Dari Tabel 5.6 ^[2] untuk $t = 3/16 \text{ in}$ didapat : $i_{cr} = 9/16 \text{ in}$

$$d_i = 78 - (2 \times 9/16 \times (1 - \cos 30)) = 77,8493 \text{ in}$$

$$L = 77,8493 / (2 \times \cos 30) = 44,9463 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \times \{3 + (L/i_{cr})^{0,5}\} = \frac{1}{4} \times \{3 + (44,9463/(9/16))^{0,5}\} = 2,9847 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} t &= (16,1701 \times 44,9463 \times 2,9847) / (2 \times 18750 \times 0,85 - 0,2 \times 16,1701) + 0,125 \\ &= 0,1931 \text{ in} \approx 1/5 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tutup atas (*dished head*) ^[2]:

$$\text{Tebal } dished = (0,885 \times P \times R_c) / (f \times E - 0,1 \times P) + C$$

$$\text{Dimana } R_c = ID = 6,5 \text{ ft} = 78 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} t &= (0,885 \times 16,1701 \times 78) / (18750 \times 0,85 - 0,1 \times 16,1701) + 0,125 \\ &= 0,195 \text{ in} \approx 1/5 \text{ in} = 5,08 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Dari Tabel 5.6 ^[2] didapat:

$$\text{untuk tebal } dished = 1/5 \text{ in, sf} = 1,5\text{-}3,5 \text{ in, } i_{cr} = 5/8 \text{ in} = 0,625 \text{ in} = 0,0159 \text{ m}$$

$$\text{sf diambil} = 1,5 \text{ in} = 0,0381 \text{ m}$$

$$BC = r_i - i_{cr}$$

$$BC = 39 - (5/8) = 38,375 \text{ in} = 0,9747 \text{ m} = 3,1979 \text{ in}$$

$$a = ID / 2 = 78 / 2 = 39 \text{ in} = 0,9901 \text{ m} = 3,25 \text{ ft}$$

$$AB = a - i_{cr} = 0,9901 - 0,0159 = 0,9742 \text{ in}$$

$$b = r_i - (BC^2 - AB^2)^{0,5} = 0,9906 - (0,9747^2 - 0,9742^2)^{0,5} = 0,9594 \text{ m}$$

$$OA = t + b + sf = 5,08 \times 10^{-3} + 0,9594 + 0,0381 = 1,0026 \text{ m}$$

$$OD = ID + 2 \times t = 1,9812 + 2 \times 5,08 \times 10^{-3} = 1,9914 \text{ m}$$

Menentukan kecepatan *atomizer* :



Gambar E.1 Atomizer pada *Spray Dryer*

$$D_{50} = (k \times M^a) / (N^b \times di^c \times (n \times h)^d) \times 10^{-4} \mu\text{m}$$

D_{50} = median diameter, μm ($\approx 300 \mu\text{m}$)

k = konstanta

M = *atomizer wheel feed*, kg/j = (2,115 kg/jam = 0,0705 lb/menit)

N = kecepatan putaran, rpm

di = diameter roda *atomizer*, m = (0,25 m = 0,8202 ft) ^[44]

n = banyaknya *vane* dalam roda (≈ 45)

h = tinggi *vane* roda *atomizer* (=30 mm = 0,03 m)

Vane liquid loading = r = feed masuk / L_w

Dimana L_w = *wetted dish peripheral* = $\pi \times Di = \pi \times 0,25 = 0,7854 \text{ m}$

$r = 2,115 \text{ kg/jam} / 0,7854 \text{ m} = 2,6929 \text{ kg/j.m}$

Berdasarkan *vane liquid loading* (r) = 1,2855 kg/j.m maka dari Tabel 8.1 ^[8] didapat:

$a = 0,12$; $b = 0,8$; $c = 0,6$; $d = 0,12$; $k = 1,2$

$$300 = (1,2 \times 2,115^{0,12}) / (N^{0,8} \times 0,25^{0,6} \times (45 \times 0,03)^{0,12}) \times 10^{-4} \mu\text{m}$$

$$N = 304,3452 \text{ rpm} \approx 304 \text{ rpm}$$

Menghitung *power* yang dibutuhkan ^[8]:

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (r \times N)^2 \times W$$

Dimana : P = hp netto, hp

r = jari-jari roda *atomizer*, ft

N = putaran disk, rpm

W = *rate feed*, lbm/menit

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (0,4101 \times 304)^2 \times 0,0705 = 1,1396 \cdot 10^{-5} \approx 1 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Nama : *spray dryer*

Fungsi : untuk mengeringkan enzim papain basah menjadi enzim papain kering yang berbentuk bubuk atau tepung

Tipe : bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk *dished head*

Kapasitas : 50,76 kg/hari

Tinggi *shell* : 0,7925 m

Tinggi konis : 0,3224 m

Diameter : 1,9812 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal konis : 1/5 in

Tebal *head* : 1/5 in

Power : 1 hp

Jumlah : 1 buah

APPENDIX F

TUGAS KHUSUS

PENENTUAN AKTIVITAS ENZIM PAPAIN

F.1 Protein dan Klasifikasinya ^[26]

Definisi Protein

Protein termasuk dalam kelompok senyawa yang terpenting dalam organisme hewan. Kata protein berasal dari kata Yunani *proteios*, yang artinya "pertama". Protein merupakan poliamida, dan hidrolisis protein akan menghasilkan asam-asam amino. Hanya 20 asam amino yang lazim dijumpai dalam protein tumbuhan dan hewan, namun ke-20 asam amino ini dapat membentuk otot, urat, kulit, kuku, bulu, sutera, hemoglobin, enzim, antibodi, dan banyak hormon. Senyawa organik kompleks berbobot molekul tinggi dalam protein yang merupakan polimer dari monomer-monomer asam amino dihubungkan satu sama lain dengan ikatan peptida. Molekul protein mengandung karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan kadang kala sulfur serta fosfor. Protein berperan penting dalam struktur dan fungsi semua sel makhluk hidup dan virus.

Struktur Asam Amino dalam Protein

Asam-asam amino yang terdapat dalam protein adalah asam α -aminokarboksilat. Variasi dalam struktur monomer-monomer ini terjadi dalam rantai samping. Asam amino yang paling sederhana adalah asam aminoasetat ($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CO}_2\text{H}$), yang disebut glisina (*glycine*), yang tidak memiliki rantai samping dan karena itu tidak mengandung satu karbon kiral. Semua asam amino lain memiliki rantai samping, dan karena itu karbon α -nya bersifat kiral. Asam amino yang berasal dari protein termasuk dalam deret L- artinya, gugus-gugus di sekeliling karbon α mempunyai konfigurasi yang sama seperti dalam L-gliseraldehida.

Asam amino tidak selalu bersifat seperti senyawa-senyawa organik. Misalnya, titik lelehnya di atas 200°C , sedangkan kebanyakan senyawa organik dengan bobot molekul sekitar itu berupa cairan pada temperatur kamar. Asam amino larut dalam air dan pelarut polar lain, tetapi tidak larut dalam pelarut nonpolar seperti dietil eter atau benzena. Asam amino mempunyai momen dipol yang besar. Mereka juga kurang bersifat asam dibandingkan sebagian besar asam karboksilat dan kurang basa dibandingkan sebagian besar amina.

Suatu asam amino mengandung suatu gugus amino yang bersifat basa dan gugus karboksil yang bersifat asam dalam molekul yang sama. Suatu asam amino mengalami reaksi asam-basa internal yang menghasilkan suatu ion dipolar, yang juga disebut *zwitter ion* (dari kata Jerman *zwitter*, "hibrida"). Karena terjadinya muatan ion, suatu asam amino mempunyai banyak sifat garam. pK_a suatu asam amino bukanlah pK_a dari gugus $-\text{CO}_2\text{H}$, melainkan dari gugus $-\text{NH}_3^+$. pK_a bukan dari gugus amino yang bersifat basa, melainkan dari gugus $-\text{CO}_2^-$ yang bersifat basa sangat lemah.

Klasifikasi Protein

Secara kasar protein dapat dikategorikan menurut tipe tugas yang dilaksanakan. Kelas-kelas ini diringkaskan dalam Tabel F.1. Protein serat (*fibrous protein*; juga disebut protein struktural) yang membentuk kulit, otot, dinding pembuluh darah, dan rambut, terdiri dari molekul panjang mirip-benang yang liat dan tidak larut.

Tipe fungsional lain ialah kelas protein globular, yang bentuknya agak bulat karena rantai-rantai melipat bertumpukan. Protein globular larut dalam air dan melakukan berbagai fungsi dalam suatu organisme. Misalnya, hemoglobin mengangkut oksigen ke sel-sel; *insulin* membantu dalam metabolisme karbohidrat; antibodi (*antibodies*) membuat protein asing menjadi tidak aktif; fibrinogen (larut) dapat membentuk serat-serat tak larut yang menggumpalkan darah; dan hormon-hormon membawa pesan-pesan ke seluruh tubuh.

Protein konjugasi (*conjugated protein*) yang dihubungkan ke suatu bagian nonprotein seperti misalnya gula, melakukan berbagai fungsi dalam seluruh tubuh. Suatu cara hubungan yang lazim antara protein dan nonprotein adalah dengan suatu rantai samping fungsional dari protein. Misalnya suatu rantai samping asam dari protein dapat membentuk suatu ester dengan gugus $-OH$ molekul gula.

Tabel F.1 Klasifikasi protein secara fungsional

Kelas	Keterangan
Serat atau struktural (tidak larut):	
Kolagen	Membentuk jaringan penyambung; membentuk 30% protein binatang menyusui; kekurangan sisteina dan triptofan; kaya akan hidroksiprolina
Elastin	Membentuk urat dan pembuluh darah
Keratin	Membentuk rambut, bulu (burung), kuku; kaya sisteina dan sistina
Globular (larut):	
Albumin	Albumin telur dan serum
Globulin	Globulin serum
Histon	Terdapat dalam jaringan kelenjar dan bersama-sama asam nukleat; kaya akan lisina dan arginina
Protamina	Diasosiasikan dengan asam nukleat; tidak mengandung sisteina, metionina, tirosina, atau triptofan; kaya akan arginina
Konjugasi (bersenyawa dengan zat lain):	
Nukleoprotein	Bersenyawa dengan asam-asam nukleat
Mukoprotein	Bersenyawa dengan $>4\%$ karbohidrat
Glikoprotein	Bersenyawa dengan $<4\%$ karbohidrat
Lipoprotein	Bersenyawa dengan lipid, seperti fosfogliserida atau kolesterol

Enzim

Semua enzim adalah protein, sebab enzim terdiri dari satu atau beberapa gugus polipeptida (protein) yang berfungsi sebagai katalis. Beberapa mempunyai struktur yang agak sederhana; namun sebagian besar enzim mempunyai struktur yang rumit. Banyak enzim yang strukturnya belum diketahui. Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama adalah substrat, suhu, keasaman, kofaktor dan inhibitor. Tiap enzim memerlukan suhu dan pH (tingkat keasaman) optimum yang berbeda-beda karena enzim adalah protein, yang dapat

mengalami perubahan bentuk jika suhu dan keasaman berubah. Di luar suhu atau pH yang sesuai, enzim tidak dapat bekerja secara optimal atau strukturnya akan mengalami kerusakan. Hal ini akan menyebabkan enzim kehilangan fungsinya sama sekali. Kerja enzim juga dipengaruhi oleh kofaktor dan inhibitor. Kofaktor ini merupakan bagian non protein dari enzim itu. Suatu kofaktor dapat berupa ion logam sederhana; ion tembaga misalnya, merupakan kofaktor bagi enzim asam askorbat oksidase. Enzim lain mengandung molekul organik non protein sebagai kofaktor.

Enzim biasanya diklasifikasikan berdasarkan fungsinya. Di dalam golongan enzim penghidrolisis terdapat kelompok peptidase yaitu kelompok enzim yang bereaksi terhadap ikatan peptida. Protease atau enzim proteolitik termasuk dalam kelompok ini. Jadi, papain (protease yang berasal dari buah papaya) dapat dikategorikan dalam kelompok enzim peptidase.

F.2 Papain dan Aktivitas Proteolitik

Papain adalah suatu sulfhidril protease dari getah *Carica papaya*. Protease yang lain seperti khimopapain dan lizozim juga terisolasi dari sumber ini ^[24]. Khimopapain yang ikut terisolasi sebesar 45% dari getah papaya, sedangkan lizozim yang terisolasi sebesar 25% dari getah papaya. Khimopapain adalah suatu enzim dari getah papaya yang digunakan untuk tujuan medis dalam penyembuhan secara *chemonucleolysis*. *Chemonucleolysis* adalah prosedur medis yang melibatkan pelarutan material seperti gelatin dalam internal pertulangan dengan menginjeksikan enzim khimopapain ^[29]. Lizozim adalah enzim yang dikenal secara umum sebagai “antibiotik tubuh” karena mampu membunuh bakteri. Lizozim terdapat dalam pengeluaran yang dilakukan manusia, contoh : air mata. Lizozim dapat juga ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi pada putih telur. Lizozim mempermudah kinerja sel darah putih untuk memakan bakteri ^[30].

Oleh karena kristal papain asli memiliki sifat yang tidak terlalu reaktif (baru berubah jika direaksikan dengan agen pereduksi yang ringan seperti *crysteine* atau *cyanide*), maka kristal papain tersebut dapat terus bertahan sebagai *zymogen*. *Zymogen* atau proenzim adalah suatu jenis enzim yang bersifat inaktif. *Zymogen* membutuhkan suatu perubahan biokimia (seperti reaksi hidrolisis yang akan menunjukkan keaktifan enzim, atau merubah konfigurasi enzim) untuk menjadi enzim yang aktif. Perubahan biokimia biasanya terjadi di lysosom dimana bagian yang spesifik dari enzim dipecah untuk membuatnya menjadi aktif. Rantai asam amino yang terlepas saat aktivasi disebut peptida aktivasi ^[31].

Papain memiliki spesifisitas (kekhususan) yang luas. Papain akan mendegradasi banyak protein substrat secara lebih ekstensif dibanding *pancreatic protease*. Papain juga merupakan *esterase*. *Esterase* merupakan enzim hidrolase yang membagi ester menjadi asam dan alkohol pada saat mengalami reaksi kimia dengan air yang biasa disebut reaksi hidrolisis. Berbagai macam *esterase* yang ada dibedakan berdasarkan spesifisitas substratnya, struktur proteinnya, dan fungsi biologisnya ^[32].

Bahan baku yang dipilih untuk pembuatan papain adalah buah dan batang pepaya. Ditinjau dari segi aktivitas proteolitik, papain dari bagian buah (daging) pepaya mempunyai kualitas paling baik, sebab dapat menghasilkan aktivitas proteolitik sebesar 400 MCU/gram. Papain dari batang pepaya bisa menghasilkan aktivitas proteolitik sebesar 200 MCU/gram. Yang dimaksud dengan aktivitas proteolitik adalah kemampuan enzim untuk menguraikan protein menjadi senyawa yang lebih sederhana. Semakin tinggi aktifitas proteolitik dari enzim, maka kualitas enzim tersebut semakin baik. Dengan melakukan pengujian aktivitas proteolitik sesuai dengan prosedur di bawah, maka kualitas enzim akan dapat diukur. Dengan mengukur kualitas enzim tersebut, maka dapat diketahui jika enzim tersebut memenuhi kriteria produk yang diharapkan. Jika kualitas enzim tersebut belum mencapai kriteria yang

diharapkan, maka dilakukan pengecekan pada proses, alat, pengemasan, maupun bahan baku yang digunakan. Dengan demikian kualitas enzim akan dapat dikendalikan dan dijaga^[6].

Aktivitas enzim adalah besarnya efek katalitis yang dimiliki oleh suatu enzim. Pengukuran aktivitas enzim berarti pengukuran jumlah atau kuantitas suatu enzim dalam satuan yang dikenal sebagai EU (*Enzyme Unit*)^[27]. Enzim proteolitik adalah suatu enzim yang memecah ikatan peptida dari asam-asam amino pada protein. Proses ini biasa disebut pemecahan protease yang merupakan mekanisme aktivasi atau inaktivasi secara umum^[28].

F.3 Metode Penentuan Aktivitas Enzim Papain

Dengan menentukan aktivitas enzim papain maka kualitas papain yang dihasilkan akan dapat diketahui, hal ini akan menentukan harga jual dan kelayakan papain tersebut. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan aktivitas enzim papain, metode tersebut adalah (1) *Plant Proteolytic Analytical Method*, (2) *Milk Clot Unit Analytical Method*, (3) *Tyrosine Unit Analytical Method*. Berikut ini adalah penjelasan dari ketiga metode tersebut :

F.3.1 *Plant Proteolytic Analytical Method (Food Chemical Codex – Papain Unit)*^[25]

A. Prinsip : Prosedur ini digunakan untuk menentukan aktivitas proteolitik dari papain, ficin dan bromelain. Dasar kerjanya berdasarkan hidrolisis proteolitik selama 60 menit dari substrat kasein pada pH 6,0 dan suhu 40°C. Substrat yang tak terhidrolisis dipresipitasi atau diendapkan menggunakan asam trikloroasetat dan dihilangkan menggunakan proses filtrasi. Kasein yang terlarut kemudian diukur menggunakan spektrofotometer.

B. Peralatan :

1. pH meter
2. *Water Bath* dengan suhu konstan sekitar 40°C dengan toleransi $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$

3. Neraca analitis
4. Spektrofotometer diset pada panjang gelombang protein 280 nm
5. Flask volumetrik
6. Pipet volume
7. Cerobong dengan pipa panjang
8. 25 ml *screw cap tubes*
9. *Disposable culture tubes*
10. *Timer*
11. Kertas saring Whatman #1
12. Pipet otomatis

C. Peringatan Keselamatan

1. Cara kerja laboratorium yang aman dan sesuai standar harus digunakan.
2. Asam trikloroasetat : sarung tangan harus selalu digunakan untuk menghindari luka bakar karena asam.

D. Persiapan reagen : Volume dapat disesuaikan tergantung kebutuhan

1. Substrat kasein (200 ml)
 - a. Diletakkan gelas beaker 2000 sampai 4000 ml diatas *heat / stir plate* (digunakan sebagai *water bath*).
 - b. Air ditambahkan ke dalamnya dan dididihkan.
 - c. Dilarutkan dan diencerkan 1,775 gram dinatrium fosfat anhidrat dengan 250 ml aquades dalam flask volumetrik.
 - d. Dicampurkan 2 gram kasein ke dalam 100 ml larutan fosfat yang telah dibuat di atas dalam gelas beaker dengan ukuran yang sesuai (250 ml) dengan menggunakan batang pengaduk dan *mixer*.
 - e. Larutan ditutup dengan *aluminium foil*.

- f. Substrat kasein diletakkan ke dalam *water bath* yang telah mendidih dengan pengadukan secara perlahan dan konstan selama 30 menit. Ketinggian air dijaga agar tidak mencapai bagian atas beaker. Digunakan gelas beaker lain yang diisi air untuk menahan beaker kasein agar tidak sampai bergoyang dan tumpah karena gelembung akibat air mendidih.
 - g. Gelas beaker diangkat dari *water bath* dan didinginkan sampai mencapai suhu ruang dengan menggunakan *water bath* pendingin dan pengadukan secara perlahan dan konstan.
 - h. Dilarutkan 1,05 gram asam sitrat monohidrat dalam aquades dan diencerkan sampai 100 ml menggunakan flask volumetrik.
 - i. Diatur pH substrat kasein sampai mencapai 6,0 (pH asli sekitar 7,2) dengan menggunakan larutan asam sitrat secara perlahan untuk menghindari kerusakan / penguraian dari matrix protein.
 - j. Kemudian dimasukkan kasein ke dalam 200 ml flask volumetrik dan diencerkan dengan menggunakan aquades.
2. Larutan buffer Fosfat-Cysteine-EDTA (2000 ml)
 - a. Ditempatkan gelas beaker 2000 ml atau lebih diatas *mixer magnetic*.
 - b. Ditambahkan aquades sekitar 1600 – 1700 ml ke dalam gelas beaker tersebut.
 - c. Ditambahkan natrium fosfat dibasic anhidrat 14,20 gram, L-cysteine 12,20 gram dan EDTA 28 gram.
 - d. Diaduk semua komponen di atas sampai terlarut.
 - e. Diatur pH larutan buffer tersebut menjadi 6,0 (pH asli sekitar 5,7) dengan menggunakan larutan NaOH 1 N (dibutuhkan sekitar 20 ml).
 - f. Dimasukkan larutan buffer tersebut ke dalam flask volumetrik 2000 ml dan diencerkan dengan menggunakan aquades.

3. Larutan penghenti (TCA) : Asam trikloroasetat (30%). Dibutuhkan sebanyak 9 ml untuk tiap sampel yang diuji. Dilarutkan 30 gram asam trikloroasetat ke dalam aquades, kemudian dimasukkan ke dalam flask volumetrik 100 ml dan diencerkan dengan menggunakan aquades.

E. Prosedur

1. Preparat enzim
 - a. Perhitungan preparat enzim :

$$\text{berat_sample(gram)} = \frac{244}{\text{PU/mg(target)}} \times \frac{1\text{gr}}{1000\text{mg}}$$

di mana :

244 = Faktor koreksi untuk papain standar USP (*United States Pharmacopoeia*)

PU/mg (target) = aktivitas papain per mg untuk papain standar USP

- b. Dilarutkan sejumlah tertentu preparat enzim ke dalam larutan buffer fosfat-cysteine-EDTA. Digunakan larutan buffer yang sama jika diperlukan beberapa kali pengenceran. Pengenceran dari enzim ini harus digunakan dalam waktu 30 menit. Konsentrasi pengenceran yang terakhir harus sesuai dengan absorbansinya yaitu sekitar 0,2 sampai 0,5 untuk tiap 2 ml preparat.
2. Evaluasi enzim : Tiap set tes terdiri dari 2 kali tes enzim dan 1 kali blanko enzim. Prosesnya sebagai berikut :
 - a. Dipipet 5,0 ml larutan substrat kasein ke dalam 3 *screw cap tubes* 25 ml yang sudah diberi label, 2 untuk tiap tes enzim dan 1 untuk blanko enzim untuk tiap sampel yang akan dianalisa dan 6 set dari 3 tabung yang sudah diberi label untuk pembuatan kurva standar.
 - b. Persiapan larutan standar : Dimasukkan 100 mg papain standar USP ke dalam gelas beaker 50 ml dan dilarutkan menggunakan larutan buffer fosfat-cysteine-

EDTA, kemudian dipindahkan larutan tersebut ke dalam flask volumetrik 100 ml dan diencerkan sampai volume tertentu menggunakan larutan buffer yang sama.

1. Diencerkan larutan standar untuk pembuatan kurva standar.
 2. Dipipet larutan standar tersebut sebanyak 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 ml dan masing-masing dimasukkan ke dalam flask volumetrik 100 ml dan dilarutkan sampai volume tertentu dengan menggunakan larutan buffer fosfat-cysteine-EDTA tersebut.
- c. Dijaga tabung larutan substrat kasein selama 15 menit pada suhu 40°C.
- d. Pada $t = 0$, *timer* dinyalakan dan ditambahkan 2 ml larutan enzim ke dalam tabung pertama untuk tes enzim. Ditutup tabung tersebut dan dibalik-balik secara perlahan beberapa kali. Kemudian diletakkan pada *water bath* dengan suhu 40°C. Dilanjutkan penambahan enzim pada interval waktu yang cukup dan sesuai (disarankan 1 menit) ke dalam masing-masing tabung, kecuali tabung untuk blanko enzim.
- e. Setelah tepat 60 menit, dipipet dengan cepat 3 ml larutan TCA ke dalam tiap tabung preparat enzim. Dikocok tabung tersebut dan dikembalikan tabung tersebut ke dalam *water bath* 40°C untuk menyempurnakan proses koagulasi dari protein yang terendapkan.
- f. Untuk menyiapkan blanko enzim : Ditambahkan 3 ml larutan TCA ke dalam larutan substrat kasein diikuti dengan penambahan 2 ml larutan enzim. Dikocok larutan tersebut dan dikembalikan tabung tersebut ke dalam *water bath* 40°C selama 30 menit untuk menyempurnakan proses koagulasi dari protein yang terendapkan.
- g. Pada akhir menit ke 30, tabung diangkat dari *water bath* dan didinginkan sampai mencapai suhu ruangan.

- h. Setelah pendinginan, disaring larutan tersebut menggunakan kertas saring berporositas medium (kertas saring Whatman #1), lalu diambil sekitar 3 ml filtrat.
- i. Diamati absorbansi filtrat dalam kuvet 1 cm pada panjang gelombang protein sebesar 280 nm. Dikoreksi nilai A_{280} dari tiap tes enzim dengan mengurangi nilai hasil pembacaan dengan nilai hasil pembacaan blanko enzim.

F. Perhitungan :

1. Definisi satuan : papain unit (PU) digambarkan dalam percobaan ini sebagai jumlah enzim yang membebaskan 1 mikrogram *tyrosine* per jam pada kondisi tertentu (sesuai percobaan).
2. Dipersiapkan kurva standar dengan cara melakukan plot absorbansi filtrat (tanpa absorbansi blanko) dari larutan standar yang diencerkan versus konsentrasi enzim, dalam mg/ml. Dengan interpolasi pada kurva standar, konsentrasi ekivalen filtrat dari larutan uji dapat ditemukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{PU/mg} = (A \times C \times 10)/W$$

keterangan :

A = aktivitas dari USP (*United States Pharmacopoeia*) *Papain Reference Standard* dalam satuan PU/mg

C = konsentrasi, dalam satuan mg/ml, dari referensi standar yang diekstrapolasi dari kurva standar

W = berat dalam satuan mg dari preparat enzim x 2 (2 ml injeksi)

10 = total volume dari substrat, enzim dan reagen penghenti dalam satuan ml

G. Parameter Penguji Ketepatan :

1. Range : Hasil absorbansi setelah koreksi dari blanko sebesar 0,150-0,700 dapat digunakan untuk menemukan aktivitas dari preparat tertentu. Hasil absorbansi uji akhir harus berada dalam kisaran 0,200-0,500.

2. Uji yang diulang hasilnya tidak boleh bervariasi lebih dari 8 %.

F.3.2 *Milk Clot Unit (MCU) Analytical Method* ^[34]

MCU adalah singkatan dari *milk clot unit*. MCU merupakan satuan yang digunakan untuk mengukur dosis bromelain, ficin, dan papain. Satuan ini tak dapat dikonversi ke satuan massa karena perbedaan perlakuan pada enzim akan membuat perbedaan pada aktivitas enzim. 1 MCU setara dengan 2/3 GDU (*Gelatin Digesting Units*) ^[33].

A. Prinsip: Prosedur ini berdasarkan hidrolisis proteolitik dari substrat susu yang mengandung buffer pada suhu 40°C. Aktivitas enzimatis dihubungkan dengan waktu yang diperlukan untuk menggumpalkan 25 ml substrat. Aktivitas enzimatis selalu dibandingkan dengan suatu standar enzim. Standar ini menghilangkan variasi *batch* ke *batch* dan hari ke hari terhadap substrat susu.

B. Peralatan:

1. *Water bath* dengan temperatur konstan pada 40°C ± 0,1°C
2. pH meter
3. Neraca analitis
4. Flask volumetrik
5. Pipet volume
6. Pipet otomatis
7. *Stopwatch* 30 atau 60 menit ± 0,01 detik
8. *Magnetic Stirrer*
9. 50 ml *screw cap tubes*

C. Petunjuk Keselamatan Kerja:

1. Standar keselamatan kerja di laboratorium harus digunakan.
2. Asam asetat: saat memipet harus disertai dengan pembungkus yang akan melindungi dari bau.

D. Reagen dan Penyiapannya (volume dapat diatur sesuai kebutuhan):

1. Buffer Pekat (1000 ml)
 - a. Larutan Asam Asetat: Ditambahkan 61 gram asam asetat pada 800 ml aquades dalam flask volumetrik 1 L, kemudian dilarutkan.
 - b. Natrium Hidroksida (NaOH 1 N): Diencerkan 100 ml NaOH 10 N menjadi 1000 ml dengan aquades dalam flask volumetrik atau dilarutkan 40 gram larutan NaOH (anhidrat) dalam aquades kemudian larutkan menjadi 1000 ml dalam flask volumetrik.
 - c. Dengan menggunakan pH meter yang telah distandarisasi, ditambahkan NaOH 1 N ke dalam 500 ml larutan asam asetat, lalu diaduk dengan konstan agar mencapai pH akhir 4,5.
2. Larutan Buffer encer: Dicampurkan 114 ml buffer pekat dengan aquades sampai volume totalnya 850 ml. Disiapkan produk susu segar sebagai substrat susu.
3. Substrat Susu (850 ml): stabil selama 1 minggu bila disimpan pada suhu 4-8°C.
 - a. Dicampurkan secara perlahan-lahan 200 gram susu instant non-lemak (*nonfat*) dengan 850 ml larutan buffer encer dalam gelas beaker 2000 ml sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*.
 - b. Dicampurkan selama 30 menit agar seluruh susu bubuk tercampur sambil ditambahkan 5 tetes toluene untuk menyempurnakan pelarutan (tak ada gumpalan yang tersisa) kemudian diaduk lagi selama 5 menit (waktu tambahan).

- d. Susu dibiarkan selama 1 jam agar busa yang ada setelah pengadukan dapat dihilangkan.
- e. Disaring dengan *glass wool*.
- f. Larutan ini dibiarkan selama 4 jam di lemari es sebelum digunakan.
- g. Substrat ini stabil selama 1 minggu bila disimpan di lemari es.
- 4. Buffer Enzim: (2 Liter)
 - a. Disiapkan gelas beaker 2000 ml atau ukuran lain yang lebih besar di bawah batang pengaduk *magnetic stirrer*.
 - b. Ditambahkan sekitar 1600-1700 ml aquades ke dalam gelas beaker.
 - c. Ditambahkan :
 - 14,20 gram Natrium Fosfat Anhidrat
 - 12,20 gram L-Sistein
 - 28,00 gram EDTA
 - d. Semua bahan dibiarkan terlarut saat pengadukan.
 - e. Diatur agar pH larutan buffer menjadi 6 (pH aslinya sekitar 5,7) dengan menambahkan NaOH 1 N (kira-kira sebanyak 20 ml).
 - f. Dipindahkan larutan buffer tersebut ke dalam flask volumetrik 2000 ml dan encerkan sampai 2000 ml dengan aquades.

E. Prosedur:

- 1. Standarisasi Substrat Susu: Dengan menggunakan *Enzyme Development's powder standard*, ditimbang enzim dengan neraca analitis sampai didapatkan hasil pengenceran enzim yang akan memberikan titik penggumpalan akhir (*clotting end point*) selama 2 sampai 3,5 menit.
 - a. Standar harus ditimbang dengan akurat pada neraca analitis dan diencerkan dengan buffer enzim.

- b. Ditempatkan gelas beaker di *stir plate*, kemudian diaduk larutan selama 5 menit..
- c. Larutan ini kemudian dipindahkan ke dalam flask volumetrik 100 ml.
- d. Digunakan rata-rata dari 3 waktu penggumpalan atau *clotting time* (ST) untuk menentukan M, faktor penggumpalan susu (*milk clotting factor*).

2. Preparat enzim:

- a. Disiapkan larutan enzim dalam buffer enzim sehingga 2 ml dari pengenceran terakhir akan memberikan waktu penggumpalan yang sama dengan waktu penggumpalan standar (antara 2,5 sampai 3,5 menit).
- b. Cara perhitungan preparat enzim:

$$\text{Massa enzim (gram)} = \frac{M}{ST \times \text{aktivitas_target} \times 2 *}$$

keterangan : * = 2 ml dari preparat enzim

$M = \text{Milk Factor} = (\text{aktivitas standar}) (\text{konsentrasi enzim}) (\text{waktu standar})$

$\text{aktivitas target} = \text{MCU/mg aktivitas dari EDC Standard (aktivitas enzim aktual)}$

$\text{Massa enzim} = \text{gram enzim yang ditambahkan ke substrat dalam 2 ml larutan encer (massa dalam gram} \times 2)$

$ST = \text{waktu penggumpalan standar dalam satuan menit}$

3. Evaluasi enzim:

- a. Dipipet 25 ml substrat dan dimasukkan ke dalam 50 ml *screw cap tubes*.
- b. Disediakan paling sedikit 2 tube untuk setiap sampel enzim.
- c. Disumbat tiap *tube* dan diletakkan pada *water bath* $40^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ selama 20 menit.
- d. Sebelum *stopwatch* dinyalakan, dipipet 2 ml larutan enzim dan dimasukkan dalam tiap *tube* (*stopwatch* dinyalakan secara serentak), lalu dicampurkan dengan cara membalikkan *tube* yang telah disumbat secara perlahan selama 4 kali.

- e. *Tube* dikembalikan ke *water bath* dan diubah posisi *tube* secara perlahan sampai agak horizontal lalu amati lapisan (*film*) susu.
- f. Lapisan susu tersebut akan semakin menebal selama ± 20 detik sebelum titik akhir.
- g. Titik akhir adalah momen saat penggumpalan mulai terjadi (akan terlihat gumpalan-gumpalan yang sangat kecil dari susu yang terkoagulasi – peristiwa penggumpalan ini harus diamati dengan cermat).
- h. *Stopwatch* dihentikan dan catat waktu dalam satuan menit (buat dua angka di belakang koma).

F. Kalkulasi:

1. Faktor Susu (*Milk Factor*): harus ditentukan secara harian untuk tiap *batch* substrat susu dan dapat digunakan selama 8 jam.

a. Contoh: 0,7 gram *EDC Standard*, memiliki 135 MCU/mg (aktivitas enzim aktual), diencerkan sampai 100 ml dengan buffer enzim. 2 ml dari pengenceran ini ditambahkan ke 25 ml substrat. Waktu penggumpalan rata-rata dari 3 sampel sebesar 3,05 menit.

$$M = 135 \times 0,014 \times 3,05 = 5,765$$

Milk Factor = M = (aktivitas standar) (konsentrasi enzim) (waktu standar)

Di mana :

135 = MCU/mg aktivitas dari *EDC Standard* (aktivitas enzim aktual)

0,014 = gram enzim yang ditambahkan ke substrat dalam 2 ml larutan encer
(massa dalam gram $\times 2$)

3,05 = (ST) Waktu penggumpalan standar dalam satuan menit

2. Aktivitas Sampel:

$$\text{MCU/mg} = \frac{M}{T(\text{menit}) \times W(\text{gram})}$$

Di mana:

M = *Milk Factor*

T = Waktu Penggumpalan dari sampel

W = Gram enzim yang ditambahkan ke substrat dalam 2 ml larutan encer (massa dalam gram x 2)

G. Parameter Penguji:

1. Waktu penggumpalan sampel enzim harus $\pm 10/100$ menit dari waktu standar rata-rata.

F.3.3 Tyrosine Unit (TU) Analytical Method ^[35]

Tyrosine berasal dari bahasa Yunani yaitu *tyros* yang berarti keju (hal ini karena *tyrosine* pertama kali ditemukan dalam keju). *Tyrosine* adalah salah satu dari 20 macam asam amino yang digunakan oleh sel untuk mensintesa protein. *Tyrosine* memiliki rantai phenol dengan golongan hidroksil. *Tyrosine* memegang peranan penting dalam pengiriman sinyal karena dapat digabungkan dalam golongan fosfat (dengan adanya protein kinase) untuk mengubah kegunaan dan aktivitas suatu enzim ^[36].

A. Prinsip: Enzim proteolitik akan menghidrolisa suatu substrat protein (kasein) dan membentuk beberapa asam amino. Salah satu asam amino yang diperoleh melalui hidrolisis tersebut adalah *L-Tyrosine*. *L-Tyrosine* memiliki absorbansi yang kuat pada panjang gelombang 280 nm.

B. Peralatan:

1. pH Meter
2. *Water Bath* dengan temperature konstan pada $40^{\circ} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$
3. Neraca analitis
4. Spektrofotometer diset pada panjang gelombang protein 280 nm

5. *Flask volumetrik*
6. *Pipet volume*
7. *Corong yang panjang dan disumbat*
8. *25 ml screw cap tubes*
9. *Disposable culture tubes*
10. *Timer*
11. Kertas saring Whatman #1

C. Petunjuk Keselamatan Kerja:

1. Standar keselamatan kerja di laboratorium harus digunakan.
2. Asam Trikloroasetat: Sarung tangan harus dipakai untuk menghindari luka bakar.

D. Reagen dan Penyiapannya: substrat, buffer dan reagen penghenti harus disiapkan tiap hari

1. Substrat Kasein : (250 ml)
 - a. Diletakkan gelas beaker 2000 ml pada *heat plate / stir plate* (sebagai *water bath*).
 - b. Ditambahkan air dan dididihkan.
 - c. Dilarutkan dan diencerkan 1,775 gram dinatrium fosfat anhidrat dengan aquades sampai 250 ml dalam flask volumetrik.
 - d. Dicampurkan 2,5 gram kasein ke 125 ml larutan fosfat (yang dibuat pada langkah sebelumnya) pada gelas beaker 400 ml dengan menggunakan batang pengaduk dan mixer.
 - e. Ditutup larutan dengan *aluminium foil*.
 - f. Ditempatkan substrat kasein tersebut pada water bath yang telah mendidih dengan disertai pengadukan konstan selama 30 menit, dijaga agar ketinggian air tidak mencapai mulut gelas beaker.

- g. Diangkat beaker dari *water bath* dan didinginkan pada temperatur ruang dengan memakai *water bath* dingin dengan disertai pengadukan yang konstan.
 - h. Dilarutkan 1,05 gram asam sitrat monohidrat dalam aquades dan diencerkan sampai 100 ml dalam flask volumetrik.
 - i. Diturunkan pH larutan substrat kasein (pH aslinya sekitar 7,2) menjadi 6 dengan penambahan larutan asam sitrat secara perlahan untuk menghindari rusaknya *matrix* protein (kira-kira dibutuhkan 35 ml larutan asam sitrat).
 - j. Dipindahkan larutan substrat kasein ke flask volumetrik 250 ml dan diencerkan sampai 250 ml dengan aquades.
2. Buffer *Cysteine-Versene* : (2 Liter)
- a. Ditempatkan gelas beaker 2000 ml pada *magnetic mixer* yang telah dilengkapi batang pengaduk.
 - b. Ditambahkan kira-kira 1600-1700 ml aquades ke dalam beaker.
 - c. Ditambahkan:
 - 14,20 gram Natrium Fosfat Dibasic Anhidrat
 - 12,20 gram L-*Cysteine*
 - 28,00 gram EDTA
 - d. Seluruh bahan dibiarkan tercampur dan terlarut.
 - e. Dinaikkan pH larutan buffer (pH aslinya sekitar 5,7) menjadi 6 dengan penambahan NaOH 1 N (kira-kira diperlukan sebanyak 20 ml).
 - f. Dipindahkan larutan buffer ke dalam flask volumetrik 2000 ml dan diencerkan sampai 2000 ml dengan aquades.
3. Larutan Penghenti: (TCA): Asam Trikloroasetat (30%) – (dibutuhkan 18 ml untuk tiap sampel).

- a. Dilarutkan 30 gram Asam Trikloroasetat dalam aquades, lalu dipindahkan ke dalam flask volumetrik 100 ml dan diencerkan sampai 100 ml dengan aquades.

E. Prosedur:

1. Preparat Enzim:

- a. Dilarutkan sejumlah preparat enzim dalam buffer *cysteine-versene*. Pengenceran enzim harus dilakukan selama 30 menit. Konsentrasi akhir pengenceran harus sesuai dengan absorbansi sebesar 0,2600 atau sekitar 2,5 - 6,5 TU/ml.

- b. Cara perhitungan preparat enzim:

$$\text{massa sampel (gram)} = \frac{0,2600 \times (\text{tyrosine_curve_factor})}{\text{TU / gram_Target}}$$

2. Evaluasi Enzim: Setiap uji/tes melibatkan 2 enzim uji dan 1 enzim blanko.

- a. Dipipet 10 ml larutan substrat kasein dan dituangkan ke dalam 3 *screw cap tubes* 25 ml yang telah diberi label, dua untuk uji enzim dan satu untuk enzim blanko (1A, 1B, dan 1C).
- b. *Tube* tersebut dibiarkan selama 10 menit pada suhu 40°C.
- c. Pada $t = 0$, *timer* dinyalakan sambil ditambahkan 4 ml larutan enzim ke *tube* pertama untuk uji. Ditutup *tube* tersebut dan dibalik secara perlahan selama beberapa kali. Ditempatkan dalam *water bath* pada suhu 40°C. Dilanjutkan penambahan enzim dengan interval yang sesuai (tiap 1 menit) ke tiap *tube* kecuali blanko.
- d. Setelah 60 menit, segera dipipet 6 ml larutan TCA dan dituang ke tiap *tube*. *Tube* dikocok dengan kuat dan dikembalikan ke *water bath* selama 30 menit pada suhu 40°C untuk menyempurnakan koagulasi kasein yang terendap.
- f. Untuk menyiapkan enzim blanko, ditambahkan 6 ml larutan TCA ke larutan substrat kasein diikuti dengan 4 ml larutan enzim. Dikocok dengan kuat dan

dikembalikan ke *water bath* selama 30 menit pada suhu 40°C untuk menyempurnakan koagulasi kasein yang terendap.

- g. Pada akhir periode 30 menit tersebut, diangkat tiap *tube* dari *water bath* dan dibiarkan dingin pada temperatur ruang.
- h. Dicatat absorbansi filtrat (yang ada pada kuvet 1 cm) pada panjang gelombang protein sebesar 280 nm. Dikoreksi nilai A_{280} dari setiap enzim uji dengan mengurangi absorbansi blanko.

3. Kurva *tyrosine*

- a. Dilarutkan 100 mg L-*Tyrosine* dalam HCl 0,1 N dan diencerkan sampai 1 L dalam flask volumetrik.
- b. Disiapkan larutan-larutan di bawah ini dengan menggunakan HCl 0,1 N sebagai pengencernya :

Konsentrasi Akhir	Pengenceran dari Larutan Tyrosine
25 µg/ml	25 ml / 100 ml
50 µg/ml	50 ml / 100 ml
75 µg/ml	75 ml / 100 ml

- c. Ditentukan absorbansi larutan *tyrosine* pada 25, 50, dan 75 µg *tyrosine* per ml dengan spektrofotometer pada panjang gelombang protein sebesar 280 nm (dalam kuvet 1 cm).
- d. Dibuat plot absorbansi versus konsentrasi *tyrosine*.
- e. Ditentukan slope dari kurva tersebut dalam absorbansi per µg *tyrosine* (slope harus sebesar 0,0064-0,0076).

F. Perhitungan:

1. Definisi Satuan: 1 satuan aktivitas enzim berarti aksi yang dilakukan enzim tersebut pada substrat kasein yang akan menghasilkan 1 µg *Tyrosine* per menit.
2. Jumlah TU/gram dalam preparat enzim adalah:

$$\text{O.D.} \times \text{D.F.} / 4 \times 20/60 \times 1/\text{slope} = \text{TU/gram}$$

keterangan:

TU (*Tyrosine Unit*) = Jumlah enzim yang akan melepaskan 1 mikromol *tyrosine* per menit pada kondisi tertentu (pH dan suhu tertentu).

O.D. = *Optical Density* dari enzim uji dikurangi *Optical Density* dari enzim blanko

D.F. = Faktor Pengenceran dari larutan enzim (1/konsentrasi akhir enzim)

4 = volume larutan enzim yang ditambahkan

20 = volume total dari substrat, enzim and reagen penghenti

60 = waktu hidrolisis dalam satuan menit

Slope = Slope yang didapat dari kurva *tyrosine*

3. Jumlah TU/gram dari preparat enzim adalah aktivitas TU dari preparat enzim tersebut.

$$\text{Jadi: Aktivitas TU} = \frac{A_{280} \text{ dari filtrat} \times \text{faktor kurva tyrosine}}{\text{konsentrasi enzim (g/ml)}}$$

Contoh : O.D. = 0,2600

Faktor = 13

Konsentrasi akhir = 0,00003600 (1/Faktor Pengenceran)

$$\text{TU} = 0,2600 \times 13 / 0,00003600 = 94.000 \text{ TU/gram}$$

APPENDIX G

TUGAS KHUSUS

PENGEMASAN ENZIM PAPAIN

G.1 Definisi Papain

Papain adalah suatu sulfhidril protease dari getah *Carica papaya* (protease yang lain seperti khimopapain dan lizozim juga terisolasi dari sumber ini). Oleh karena kristal papain asli memiliki sifat yang tidak terlalu reaktif (baru berubah jika direaksikan dengan agen pereduksi yang ringan seperti *crysteine* atau *cyanide*), maka kristal papain tersebut dapat terus bertahan sebagai *zymogen*. Papain memiliki spesifisitas (kekhususan) yang luas. Papain akan mendegradasi banyak protein substrat secara lebih ekstensif dibanding *pancreatic protease*. Papain juga merupakan *esterase*. Aksi papain terhadap *leucine methyl ester* mampu menghasilkan suatu *polyleucine peptide* yang tak larut. Penemuan tentang kemampuan papain memecah matrix interselular dari tulang rawan mengarahkan para ilmuwan untuk meneliti lebih jauh papain sebagai *chondromucoproteinase*. Enzim proteolitik telah digunakan secara luas dalam isolasi sel. Dengan adanya beberapa jaringan tambahan, papain telah membuktikan lebih tahan terhadap kerusakan dan lebih efektif dibanding *protease* lain. Sel *photoreceptor* tunggal yang utuh juga dapat diisolasi dari retina salamander dewasa dengan menggunakan papain^[24].

G.2 Karakteristik Papain

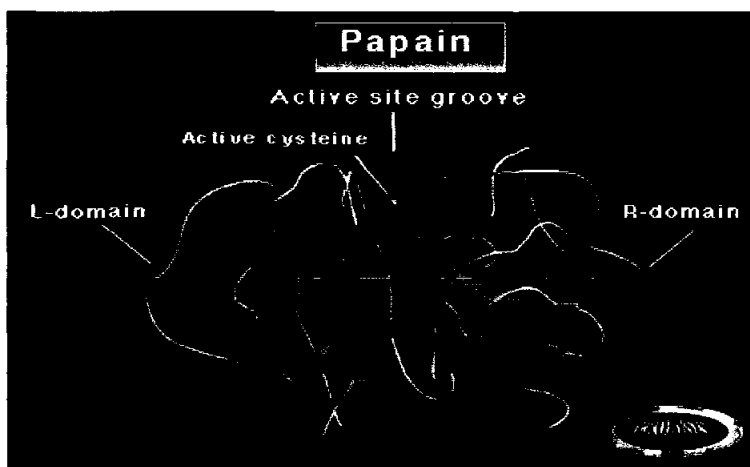
Sifat fisik dan kimia papain^[4, 6]:

- berbentuk serbuk atau kristal segienam

- berwarna putih atau agak coklat
- mempunyai rasa dan bau yang khas
- terlarut dalam air
- tidak mengandung karbohidrat
- berat molekulnya 21000 g/gmol
- pH optimum papain 6-7
- stabil pada suhu tinggi (80-100,2°C) dengan pH 4,5-10,5
- titik isoelektriknya pada pH 8,75
- cepat menjadi inaktif pada suhu tinggi bila pH asam (kurang dari 4)

Komposisi papain

Papain adalah rantai peptida tunggal dari 211 residu yang terlipat menjadi dua bagian yang bentuknya seperti gantungan (**Gambar G.1**). Molekulnya memiliki 1 grup sulfhidril bebas yang bersifat fungsional. Terdapat 7 cabang yang memungkinkan untuk mengakomodasi residu asam amino tunggal dari substrat peptida ^[24].



Gambar G.1 Struktur peptida papain ^[13]

Aktivator

Papain diaktivasi oleh *cysteine*, *sulfide*, *sulfite*, dan lain-lain. Aktivitas papain dapat ditingkatkan ketika agen pengikat logam berat seperti EDTA juga terdapat di dalamnya. *N-bromosuccinimide* juga mampu meningkatkan aktivitasnya.

Inhibitor

Substansi-substansi yang bereaksi dengan grup sulfhidril seperti logam berat dan reagen karbonil. Aldehida dan *benzoylamidoacetonitrile* juga menjadi inhibitor bagi papain. Papain dapat menjadi tidak aktif bila terdapat H_2O_2 yang dihasilkan oleh gamma-irradiasi dari H_2O -karena grup SH yang aktif telah dioksidasi menjadi asam *sulfenic*.

Stabilitas

Papain sebagai suspensi kristal dapat stabil pada $5^{\circ}C$ selama 6-12 bulan. Agen penstabilnya adalah EDTA, *cysteine* dan *dimercaptopropanol*. Untuk meningkatkan stabilitasnya sebaik solubilitasnya, maka akan sangat menguntungkan bila kristal papain diubah menjadi turunannya yaitu mercuripapain ^[24].

G.3 Produk Enzim Papain

Pabrik enzim papain ini akan menghasilkan papain padat (tepung papain) sebagai produk utamanya. Papain padat dipilih sebagai produk dengan alasan ^[6]:

- Biaya pengangkutan lebih murah
- Stabilitas penyimpanan lebih baik

- Tidak memerlukan pendinginan
- Dapat dijual dalam kemasan-kemasan kecil

Sedangkan papain berwujud cair memiliki banyak kekurangan, yaitu ^[6]:

- Biaya pengangkutan dapat menjadi mahal karena volume yang cukup besar
- Relatif tidak stabil sehingga membutuhkan pendinginan atau penstabil enzim tersebut
- Mudah terkontaminasi oleh mikroorganisme
- Mudah kehilangan aktivitasnya karena agitasi mekanis selama pengangkutan
- Harus disediakan fasilitas penyimpanan tertentu

G.4 Pengemasan Papain

Papain kehilangan kekuatannya (aktivitas enzim) relatif cukup cepat, khususnya jika tidak disimpan pada kondisi yang dingin. Kehilangan aktivitas enzim akan menurunkan nilai jual enzim tersebut. Kontak dengan udara dan logam juga harus dihindari. Tepung papain kering hasil pengayakan ini juga bersifat higroskopis (mudah menyerap air/uap air). Oleh karena itu, harus segera dikemas dan ditutup rapat. Di samping itu, pengemasan juga dimaksudkan untuk menghindari terjadinya proses pencemaran produk oleh bahan-bahan pencemar yang ada misalnya debu, serangga maupun kotoran lainnya. Papain tidak boleh disimpan terlalu lama (papain dapat dikatakan kadaluarsa bila aktivitas proteolitiknya menurun sampai 90%). Papain harus dijauhkan dari panas dan cahaya langsung. Panas dan kelembaban dapat menyebabkan papain menurun kualitasnya sehingga tak memberikan efek yang seharusnya ^[10].

Papain harus disimpan pada wadah tertutup. Wadah yang dapat digunakan ialah :

- Botol kaca berwarna gelap, bermulut lebar, dilengkapi dengan penutup ulir

- Botol plastik yang tidak bening, bermulut lebar, dilengkapi dengan penutup ulir
- *Aluminium foil*
- Plastik polietilen

Produk papain dari pabrik ini akan dipasarkan dalam kemasan *Aluminium Foil*.

Kemasan *aluminium foil* untuk tepung papain dipilih karena *aluminium foil* memiliki sifat kedap terhadap air dan udara. Kemasan *aluminium foil* untuk tepung papain lebih disukai daripada plastik polietilen, karena *aluminium foil* lebih fleksibel dan memiliki tingkat kerapatan yang baik. Untuk kemasan terluar dipilih plastik jenis OPP (*Oriented Polypropylene*) karena plastik ini memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap kelembaban serta teruji untuk berbagai produk makanan yang tak tahan terhadap panas (contoh : coklat). OPP dibuat dengan proses *high expansion bubble*.

G.5 Analisa Ekonomi Pengemasan

Kapasitas produksi tepung papain : 30 kg/hari

Produk tepung papain : 25 gr/*pack*

Kemasan tepung papain/hari : 1200 *pack*

Biaya kemasan :

1. *Aluminium foil* 14 micron = Rp 150.000/roll (1 roll = 150 cm x 400 cm)

2. OPP 1 gr = Rp 200/*pack* OPP

Kebutuhan kemasan :

1. *Aluminium foil* 14 micron = (10 cm x 30 cm)/*pack*

Berarti 1 roll *aluminium foil* 14 micron dapat dipakai untuk 200 *pack*. Untuk memenuhi kapasitas produksi/hari maka dipakai *aluminium foil* sebanyak 6 roll/hari.

2. OPP 1 gr = 1 gr/*pack*

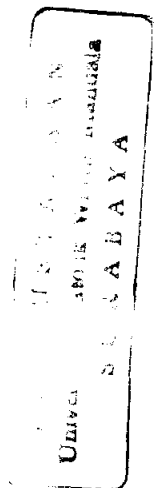
Berarti satu buah OPP 1 gr dapat dipakai untuk 1 *pack*. Untuk memenuhi kapasitas produksi/hari maka dipakai OPP sebanyak 1200 gr/hari.

Biaya pengemasan :

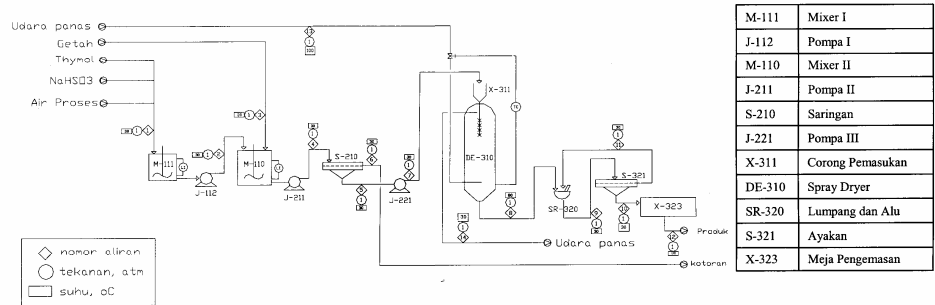
1. *Aluminium foil* = 6 x Rp 150.000 = Rp 900.000

2. OPP = 1200 x Rp 200 = Rp 240.000

Total biaya pengemasan = Rp 1.140.000/hari



FLWSHEET PABRIK ENZIM PAPAIN



Komponen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NaHSO ₃ , kg	0,21	0,21		0,21	0,21		0,21	0,0119	0,0143	0,0119	0,0024	0,0143		0,1981
Thymol, kg	0,06	0,06		0,06	0,06		0,06	0,0034	0,0041	0,0034	0,0007	0,0041		0,0566
Air	20,49	20,49	6	26,49	26,49		226,49	1,5013	1,8016	1,5013	0,3003	1,8016		24,9887
Papain, kg			3	3	3		3	2,97	3,564	2,97	0,594	3,564		0,03
Khimopapain, kg			13,5	13,5	13,5		13,5	13,365	16,038	13,365	2,673	16,038		0,135
Lizozim, kg			7,5	7,5	7,5		7,5	7,425	8,91	7,425	1,485	8,91		0,075
Kotoran, kg			1,5	1,5		1,5								
Udara Panas, kg												172,2344	172,2344	