

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

Kapasitas : 50.000 ton/tahun

Operasi : 330 hari /tahun, 24 jam/hari

Proses : kontinyu

Basis : 1 jam

Satuan : kg

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ Kapasitas (K)} &= \frac{50.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{\text{hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 6313,1313 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan secara *backward* dengan menggunakan kapasitas produksi pabrik.

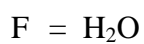
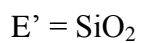
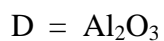
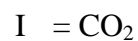
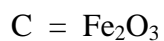
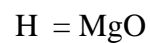
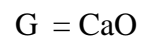
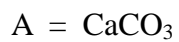
Tabel A.1 Data Komposisi Bahan Baku dan Produk

Komponen	Komposisi	
	Bahan baku(%)	Produk (%)
CaCO ₃	90	99
MgCO ₃	5	
MgO		0,2
Fe ₂ O ₃	0,65	0,1
Al ₂ O ₃	1,6	0,1
SiO ₂	2,23	0,1
H ₂ O	0,52	0,5

Tabel A.2 Data Berat Molekul Komponen

Komponen	Berat molekul (kg/kmol)
CaCO ₃	100
CaO	56
Ca(OH) ₂	74
Al ₂ O ₃	102
Fe ₂ O ₃	160
SiO ₂	60
MgCO ₃	84
MgO	40
H ₂ O	18
CO ₂	44

Misalkan :



Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

Dari tabel A.1 ,maka komposisi produk aliran 25 (keluaran dryer) masing-masing komponen :

$$\begin{aligned} \text{CaCO}_3 \text{ precipitated (PCC)} &= 99\% \times 6313,13 \text{ kg/jam} \\ &= 6249,999 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MgO} &= 0,2\% \times 6313,3 \text{ kg/jam} \\ &= 12,6263 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2 \text{O}_3 &= 0,1\% \times 6313,13 \text{ kg/jam} \\ &= 6,3131 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Al}_2 \text{O}_3 &= 0,1\% \times 6313,13 \text{ kg/jam} \\ &= 6,3131 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= 0,1\% \times 6313,13 \text{ kg/jam} \\ &= 6,3131 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

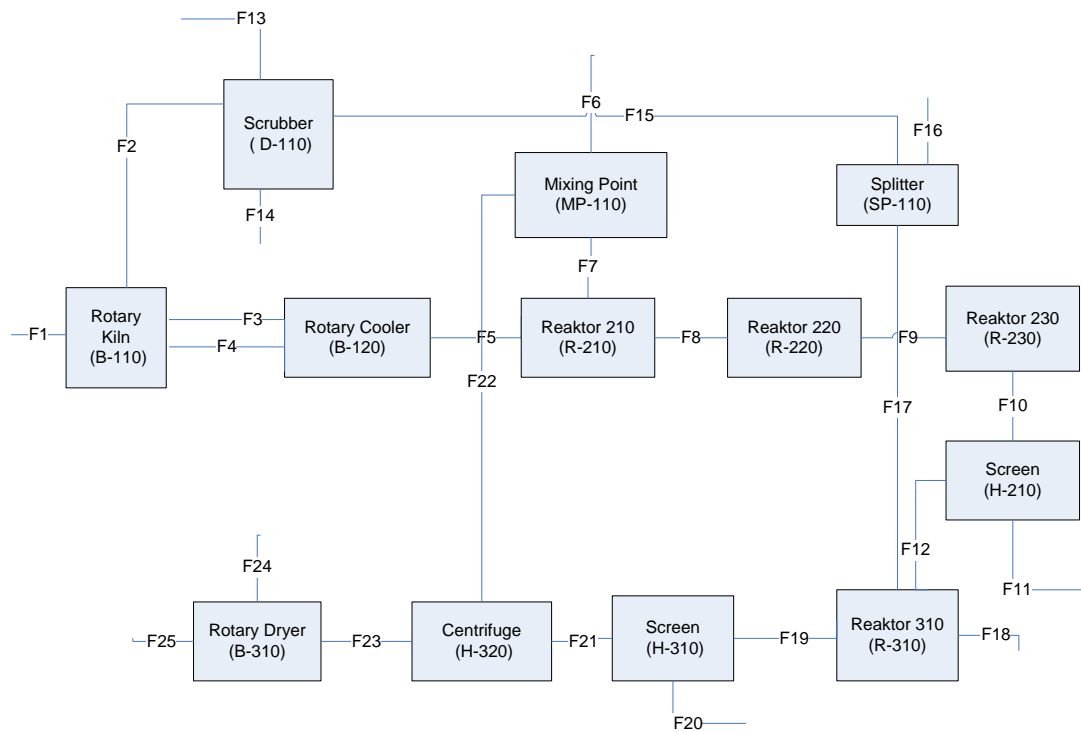
$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= 0,5\% \times 6313,13 \text{ kg/jam} \\ &= 31,5657 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Secara umum, persamaan neraca massa adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \{ \text{Massa masuk} \} - \{ \text{Massa keluar} \} + \{ \text{Massa tergenerasi} \} - \{ \text{Massa terkonsumsi} \} = \\ \{ \text{Akumulasi massa} \} \quad \quad \quad (\text{Himmelblau, 1996 : 144}) \end{aligned}$$

Blok Diagram pembuatan precipitated calcium carbonate dapat dilihat pada gambar

A.1 dibawah ini:

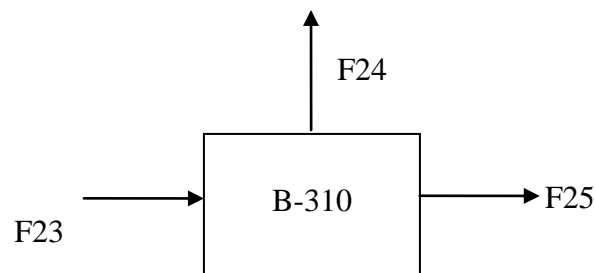


Gambar A.1. Blok Diagram Pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC)

Perhitungan neraca massa pada masing-masing alat adalah sebagai berikut :

1 . Neraca Massa Rotary Dryer (B-310)

Fungsi : mengurangi kadar air dalam produk menjadi 0,5%.



Gambar A.2. Blok Diagram Aliran Massa Rotary Dryer (B-310)

Neraca Massa Total :

$$F_{24} = F_{25} + F_{26}$$

❖ **Massa Masuk**

- **Aliran 24**

Adalah aliran masuk Rotary Dryer. Menurut Tabel 9.10 Wallas (1990) untuk *calcium carbonate (precipitated)*, *initial moisture content* adalah sebesar 13,5% (wt/wt). Laju massa padatan masuk adalah 6281,5640 kg/jam.

Air aliran masuk Rotary Dryer (aliran 24) dihitung dengan :

$$\text{Moisture content} = \text{laju massa air} / \text{laju massa padatan}$$

$$0,135 = \text{laju massa air} / 6281,5640$$

$$\text{Laju massa air} = 0,135 \times 6281,5640 \text{ kg/jam}$$

$$= 848,0112 \text{ kg/jam}$$

❖ **Massa Keluar**

- **Aliran 25**

Aliran keluar Rotary Dryer berupa air yang teruapkan .

Besarnya air yang teruapkan = air aliran 25 – air aliran 23

$$= (848,0112 - 31,5657) \text{ kg/jam}$$

$$= 816,4455 \text{ kg/jam}$$

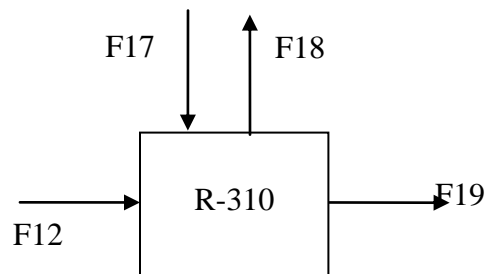
Tabel A.3. Neraca Massa Rotary Dryer (B-310)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	Aliran 23	Aliran 24	Aliran 24	Aliran 25
CaCO ₃ precipitaed	6249,9987			6249,9987
MgO	12,6263			12,6263
Fe ₂ O ₃	6,3131			6,3131
AlO ₃	6,3131			6,3131
SiO ₂	6,3131			6,3131
H ₂ O	848,0112	816,4455		31,5657
Total	7129,5760	816,4455	816,4455	6313,1300
	7129,5760	7129,5760		

2. Neraca Massa Reaktor 310 (R-310)

Fungsi : mereaksikan antara Ca(OH)₂ dengan CO₂ sehingga membentuk

CaCO₃ precipitated .



Gambar A.3. Blok Diagram Aliran Massa Reaktor 310 (R-310)

Pada R-310 yang bereaksi hanya Ca(OH)₂, sedangkan komponen impuritis inert. Menurut US Patent No 3.920.800 konversi Ca(OH)₂ terhadap CaCO₃ pada reaksi karbonasi sebesar 95%.

Sehingga dapat dihitung Ca(OH)₂ mula-mula yang masuk pada aliran 12.

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol CaCO}_3 \text{ yang terbentuk}}{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ mula-mula}} \times 100 \%$$

$$95\% = \frac{62,4999}{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ mula-mula}} \times 100 \%$$

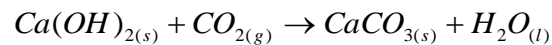
$$\begin{aligned} \text{Ca(OH)}_2 \text{ mula-mula} &= 62,4999 \times (100/95) \\ &= 65,78946 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Ca(OH)}_2 \text{ aliran 12} = 65,78946 \text{ kmol/jam} \times 74 = 4868,4210 \text{ kg/jam.}$$

Jumlah CO₂ yang digunakan sebagai reaktan adalah sesuai dengan mol Ca(OH)₂ mula-mula.

Reaksi karbonasi



mula-mula	65,78946	65,78946		
bereaksi	62,49999	62,49999		
sisanya	3,28947	3,28947	62,49999	62,49999

dari reaksi diatas

$$\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ mula-mula} = 65,78946 \text{ kmol/jam} = 4868,4210 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CO}_2 \text{ mula-mula} = 65,78946 \text{ kmol/jam} = 2894,7362 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ bereaksi} = 62,49999 \text{ kmol/jam} = 4624,9990 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CO}_2 \text{ bereaksi} = 62,49999 \text{ kmol/jam} = 2749,9994 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CaCO}_3 \text{ terbentuk} = 62,49999 \text{ kmol/jam} = 6249,9987 \text{ kg/jam}$$

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

mol H ₂ O yang terbentuk	62,49999 kmol/jam	= 1124,9998 kg/jam
mol Ca(OH) ₂ sisa	3,2865 kmol/jam	= 243,4210 kg/jam
mol CO ₂ sisa	3,2865 kmol/jam	= 144,7368 kg/jam

❖ Massa Masuk

- Aliran 12

Aliran ini adalah aliran masuk R-310 berupa slurry Ca(OH)₂ dan impuritis.

Dari reaksi karbonasi diatas maka

$$\text{Ca(OH)}_2 = 4868,4210 \text{ kg/jam} \quad \text{H}_2\text{O} = F \text{ kg/jam}$$

- Aliran 17

Aliran masuk R-310 berupa gas CO₂ yang berasal dari keluaran

Splitter . Jumlah gas CO₂ adalah CO₂ = 2894,7362 kg/jam

❖ Massa Keluar

- Aliran 18

Aliran keluar R-310 berupa CO₂ yang tidak bereaksi.

- Aliran 19

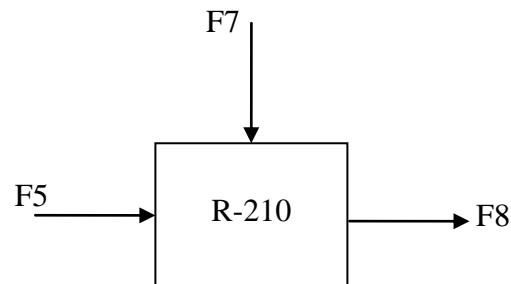
Aliran keluar R-310 berupa CaCO₃ precipitated , Ca(OH)₂ sisa reaksi dan Impuritis.

Tabel A.4. Neraca Massa Sekitar Reaktor 310 (R-310)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	Aliran 12	Aliran 17	Aliran 18	Aliran 19
Ca(OH) ₂	4868,4211			243,4211
CO ₂		2894,7362	144,7368	
CaCO ₃ prec				6249,9987
MgO	12,6263			12,6263
Fe ₂ O ₃	6,3131			6,3131
Al ₂ O ₃	6,3131			6,3131
SiO ₂	6,3131			6,3131
H ₂ O	F			F+1124,9998
Total	4899,9850+F	2894,7362	144,7368	7649,9844+F
	7794,7212+F		7794,7212+F	

3. Neraca Massa Reaktor 210 (R-210)

Fungsi : mereaksikan antara CaO dan H₂O untuk membentuk slurry

**Gambar A.4. Blok Diagram Aliran Massa Reaktor 210 (R-210)**

Konversi total Ca(OH)₂ menjadi CaO pada Reaktor seri untuk reaksi *slaking* adalah 98% (US pat 4588559). Pada proses produksi PCC ini digunakan 3 reaktor seri dengan konversi di reaktor pertama adalah 72,856 %. Sedangkan

laju alir masuk untuk impuritis berupa MgO, Fe_2O_3, Al_2O_3 dan SiO_2 besarnya belum diketahui. $Ca(OH)_2$ yang keluar Reaktor 230 sebanyak 4868,4210 kg/jam dan jumlah ini sama dengan $Ca(OH)_2$ yang terbentuk secara keseluruhan

$$\begin{aligned} \text{Massa } Ca(OH)_2 \text{ yang terbentuk} &= 4868,4211 \text{ kg/jam} \\ &= 65,7895 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung CaO mula-mula yang dibutuhkan pada Reaktor 210

$$\begin{aligned} \text{Konversi} &= \frac{\text{mol } Ca(OH)_2 \text{ yang terbentuk di R-203}}{\text{mol } CaO \text{ mula-mula masuk R-201}} \times 100 \% \\ 98\% &= \frac{65,7895}{\text{mol } CaO \text{ mula-mula masuk R-203}} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CaO mula-mula masuk R-210} &= 65,7895 \times (100/98)\% \\ &= 67,132116 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaO aliran 5} &= 67,132116 \text{ kmol/jam} \times 56 \\ &= 3759,3985 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Air yang digunakan pada reaksi slaking berupa *excess water* yang besarnya adalah 4,2- kali berat CaO . Dipilih 4,2 kali.

$$\begin{aligned} &= 4,2 \times 3795,3985 \text{ kg/jam} \\ &= 15789,4737 \text{ kg/jam} = 877,192982 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

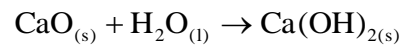
Karena konversi Reaktor 210 adalah 72,856 % maka $Ca(OH)_2$ keluar R-210 adalah;

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ yang terbentuk di R-201}}{\text{mol CaO mula-mula masuk R-201}} \times 100 \%$$

$$72,856\% = \frac{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ yang terbentuk di R-201}}{67,1321} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Ca(OH)}_2 \text{ yang terbentuk di R-210} &= 0,72856 \times 67,1321 \text{ kmol/jam} \\ &= 48,9098 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Reaksi Slaking



mula-mula	67,1321	877,1930	-
bereaksi	48,9098	48,9098	-
sisa	18,2223	828,2832	48,9098

dari perhitungan stoikiometri

$$\text{mol CaO mula-mula } 67,1321 \text{ kmol/jam} = 3759,3985 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O mula-mula } 877,1930 \text{ kmol/jam} = 15789,4737 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CaO bereaksi } 48,9098 \text{ kmol/jam} = 2738,9474 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O bereaksi } 48,9098 \text{ kmol/jam} = 880,3759 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ terbentuk } 48,9098 \text{ kmol/jam} = 3619,3233 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CaO sisa } 18,2223 \text{ kmol/jam} = 1020,4511 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O sisa } 828,2832 \text{ kmol/jam} = 14909,0977 \text{ kg/jam}$$

❖ Massa Masuk**- Aliran 5**

Aliran ini adalah aliran masuk reaktor berupa CaO dan impuritis.

Jadi CaO masuk adalah 3759,3985 kg/jam. Nilai impuritis lain belum diketahui sehingga di labelkan untuk MgO = H kg/jam, Fe₂O₃ = C kg/jam, Al₂O₃ = D kg/jam, dan SiO₂ = E kg/jam serta sisa CaCO₃ yang tidak bereaksi yaitu L kg/jam.

- Aliran 7

Aliran masuk reaktor berupa air keluaran Mixing Point.

❖ Massa Keluar**- Aliran 8**

Aliran keluar Reaktor 210 yaitu *slurry* Ca(OH)₂, serta CaO dan H₂O sisa reaksi dan impuritis. Impuritis masih berupa H, C, D, E dan L kg/jam.

Ca(OH)₂ = 3619,3233 kg/jam

CaO = 1020,4511 kg/jam

H₂O = 14909,0977 kg/jam

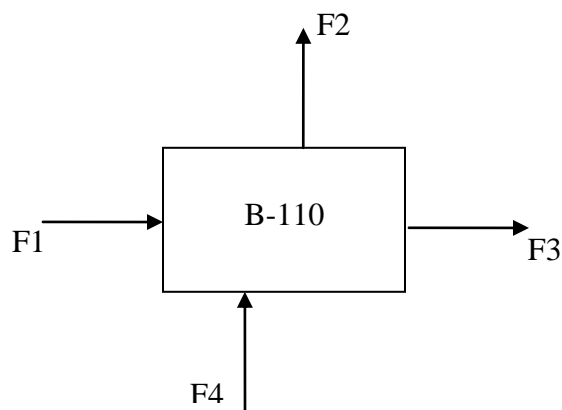
Tabel A.5. Neraca Massa Sekitar Reaktor 210 (R-210)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)
	Aliran 5	Aliran 7	Aliran 8
CaO	3759,3985		1020,4511
Ca(OH) ₂			3619,3233
MgO		H	H
Fe ₂ O ₃		C	C
Al ₂ O ₃		D	D
SiO ₂		E	E
CaCO ₃		L	L
H ₂ O		15789,4737	14909,0977
Total	3759,3985+H+C	15789,4737	19548,8722+H+
	+D+E+L		C+D+E+L
	19548,8722+ H+C+D+E+L		19548,8722+H+
			C+D+E+L

4. Neraca Massa Rotary Kiln (B-110)

Fungsi : tempat terjadinya reaksi dekomposisi CaCO₃ menjadi CaO

(reaksi kalsinasi)



Gambar A.5. Blok Diagram Aliran Massa Rotary Kiln (B-110)

Perhitungan jumlah CaO tergenerasi di Kiln

Mula- mula dilakukan penghitungan jumlah CaO yang tergenerasi di Rotary Kiln. Dikarenakan CaO aliran 5 adalah 99% dari CaO aliran 3 maka

$$\begin{aligned} F_{G'3} &= (100/99) \times F_{G'5} \\ &= (100/99) \times 3759,3985 \text{ kg/jam} \\ &= 3797,3722 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{G'4} &= 1\% \times F_{G'3} \\ &= 0,01 \times 3797,3722 \text{ kg/jam} \\ &= 37,9737 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{G'2} &= 1\% (F_{G'3} + \text{CaO tergenerasi}) \text{ kg/jam} \\ &= 0,01 (37,9737 + \text{CaO tergenerasi}) \\ &= (0,3797 + 0,01 \text{ CaO tergenerasi}) \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Sehingga neraca komponen CaO dapat dituliskan:

$$\begin{aligned} (F_{G'4}) - (F_{G'2} + F_{G'3}) + \text{CaO tergenerasi} - 0 &= 0 \\ 37,9737 - (0,3797 + 0,01 \text{ CaO tergenerasi} + 3797,3722) \\ &+ \text{CaO tergenerasi} = 0 \\ 0,99 \text{ CaO tergenerasi} &= 3759,7707 \\ \text{CaO tergenerasi} &= 3797,7482 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CaO yang terbentuk} &= \text{CaO tergenerasi} \\ &= 3797,7482 \text{ kg/jam} \\ &= 67,816932 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

1) Perhitungan Jumlah CaCO_3 dan Batu Kapur masuk Rotary Kiln

Menurut US patent no 4748010, konversi reaksi kalsinasi adalah 95 %.

$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol CaO yang terbentuk}}{\text{mol CaCO}_3 \text{ mula-mula}} \times 100 \%$$

$$95 \% = \frac{67,816932}{\text{mol CaCO}_3 \text{ mula-mula}} \times 100 \%$$

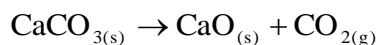
$$\text{CaCO}_3 \text{ mula-mula} = 67,816932 \times (100/95)\%$$

$$= 71,386244 \text{ kmol}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ aliran 1} = \text{CaCO}_3 \text{ mula-mula} = 71,386244 \text{ kmol/jam} \times 100$$

$$= 7138,6244 \text{ kg/jam}$$

Reaksi Kalsinasi



$$\text{mula-mula} \quad 71,386244 \quad - \quad -$$

$$\text{bereaksi} \quad 67,816932 \quad - \quad -$$

$$\text{sisa} \quad 3,569312 \quad 67,816932 \quad 67,816932$$

dari stoikiometri,

$$\text{CaCO}_3 \text{ mula-mula adalah } 71,386244 \text{ kmol/jam} = 7138,6244 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ bereaksi adalah } 67,816932 \text{ kmol/jam} = 6781,6932 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaO terbentuk adalah } 67,816932 \text{ kmol/jam} = 3797,7482 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CO}_2 \text{ yang terbentuk adalah } 67,816932 \text{ kmol/jam} = 2983,945 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ sisa adalah } 3,569312 \text{ kmol/jam} = 356,9312 \text{ kg/jam}$$

Neraca Komponen CaCO_3 :

$$(F_{A'1} + F_{A'4}) - (F_{A'2} + F_{A'3}) + 0 - \text{CaCO}_3 \text{ terkonsumsi} = 0$$

Dimana

$$F_{A'4} = 0,01 F_{A'3}$$

$$\begin{aligned} F_{A'2} &= 1\% \times (\text{CaCO}_3 \text{ sisa} + F_{A'4}) \\ &= 0,01 \times (356,9312 \text{ kg/jam} + F_{A'4}) \\ &= (3,5693 + 0,01 F_{A'4}) \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{A'3} &= 99\% \times (\text{CaCO}_3 \text{ sisa} + F_{A'4}) \\ &= 0,99 \times (356,9312 \text{ kg/jam} + F_{A'4}) \\ &= (353,3619 + 0,99 \cdot 0,01 F_{A'3}) \text{ kg/jam} \\ &= 353,3619 + 0,0099 F_{A'3} \end{aligned}$$

$$0,9901 F_{A'3} = 353,3619 \text{ kg/jam}$$

$$F_{A'3} = 356,8952 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} F_{A'4} &= 0,01 F_{A'3} \\ &= 0,01 \times 356,8952 \text{ kg/jam} \\ &= 3,5690 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{A'2} &= 3,5693 + (0,01 \times 3,5690) \\ &= 3,6050 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$(F_{A'1} + F_{A'4}) - (F_{A'2} + F_{A'3}) + 0 - \text{CaCO}_3 \text{ terkonsumsi} = 0$$

$$(F_{A'1} + 3,5690) - (3,6050 + 356,8952) + 0 - 6781,6932 = 0$$

$$F_{A'1} = 7138,6244 \text{ kg/jam}$$

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah batu kapur masuk kiln} &= (100/90)\% \times \text{CaCO}_3 \text{ mula-mula} \\
 &= (100/90)\% \times 7138,6244 \text{ kg/jam} \\
 &= 7931,8049 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

❖ Massa Masuk

- Aliran 1

Aliran masuk Rotary Kiln berupa batu kapur yang komposisinya dilihat di Tabel A.1. CaCO_3 mula-mula dari reaksi kalsinasi adalah sebanyak 90% dari kandungan batu kapur yang masuk Rotary Kiln sehingga berdasarkan komposisi bahan baku tabel A.1 dapat dihitung banyaknya impuritis yang masuk Rotary Kiln.

Maka impuritis masuk Rotary Kiln adalah

$$\begin{aligned}
 \text{MgCO}_3 &= 5\% \times 7931,8049 \text{ kg/jam} & \text{Al}_2\text{O}_3 &= 1,6\% \times 7931,8049 \text{ kg/jam} \\
 &= 396,5902 \text{ kg/jam} & &= 126,9089 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SiO}_2 &= 2,23\% \times 7931,8049 \text{ kg/jam} & \text{Fe}_2\text{O}_3 &= 0,65\% \times 7931,8049 \text{ kg/jam} \\
 &= 176,8793 \text{ kg/jam} & &= 51,5567 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{H}_2\text{O} &= 0,52\% \times 7931,8049 \text{ kg/jam} \\
 &= 41,2454 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Di kiln ini selain $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ terkalsinasi menjadi MgO . Konversi reaksi diasumsikan 100% menurut reaksi berikut dengan MgCO_3 mula-mula sebanyak $396,5902 \text{ kg/jam} = 4,721312 \text{ kmol/jam}$

	$\text{MgCO}_3 \text{ (c)}$	\rightarrow	MgO (c)	$+$	$\text{CO}_2 \text{ (g)}$
Mula-mula :	4,721312		-		-
Bereaksi :	4,721312		-		-
Sisa	0,00		4,721312		4,721312

Dari reaksi diatas, menurut stoikiometri

MgO yang terbentuk = 4,721312 kmol/jam = 188,8525 kg/jam

CO₂ yang terbentuk = 4,721312 kmol /jam = 207,7377 kg/jam

Sementara impuris lain inert.

MgO masuk Kiln dihitung dengan neraca komponen :

$$F_{H^4} - (F_{H^2} + F_{H^3}) + \text{MgO tergenerasi} - 0 = 0$$

Dimana MgO tergenerasi = MgO terbentuk = 188,8525 kg/jam

$$F_{H^2} = 0,99 (F_{H^4} + \text{MgO tergenerasi})$$

$$F_{H^2} = 0,01 (F_{H^4} + \text{MgO tergenerasi})$$

$$F_{H^4} = 0,01 F_{H^3}$$

$$F_{H^3} = 0,99 (F_{H^4} + \text{MgO tergenerasi})$$

$$F_{H^3} = 0,99 (0,01 F_{H^3} + 188,8525)$$

$$0,9901 F_{H^3} = 188,0543$$

$$F_{H^3} = 188,8334 \text{ kg/jam}$$

$$F_{H^4} = 0,01 F_{H^3}$$

$$= 0,01 \times 188,8334 \text{ kg/jam}$$

$$= 1,8883 \text{ kg/jam}$$

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

$$F_{H'4} - (F_{H'2} + F_{H'3}) + \text{MgO tergenerasi} - 0 = 0$$

$$1,8883 - (F_{H'2} + 188,8334) + 188,8525 - 0 = 0$$

$$F_{H'2} = 1,9074 \text{ kg/jam}$$

- **Aliran 4**

Aliran masuk Rotary Kiln berupa padatan terikat udara pendingin dari Rotary Cooler.

$$\text{CaCO}_3 = 3,5689 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaO} = 37,9737 \text{ kg/jam}$$

$$\text{MgO} = 1,8883 \text{ kg/jam}$$

Dengan neraca komponen, dengan X menyatakan jenis komponen,

$$\text{dimana : } F_{X'3} = 99\% (F_{X'1} + F_{X'4})$$

$$F_{X'4} = 1\% F_{X'3}$$

$$\text{Sehingga } F_{X'3} = 99\% (F_{X'1} + F_{X'4})$$

$$= 0,99(F_{X'1} + 0,01F_{X'3})$$

$$0,9901F_{X'3} = 0,99 F_{X'1}$$

Sehingga:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$0,9901F_{C'3} = 0,99 F_{C'1}$$

$$0,9901F_{C'3} = 0,99 \times 51,5567$$

$$F_{C'3} = 51,5389 / 0,9901$$

$$= 51,5515 \text{ kg/jam}$$

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

$$\begin{aligned}
 F_{C'4} &= 1\% F_{C'3} \\
 &= 0,01 \times 51,5515 \\
 &= 0,5155 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (F_{C'1} + F_{C'4}) - (F_{C'2} + F_{C'3}) + 0 - 0 &= 0 \\
 (51,5567 + 0,5155) - (F_{C'2} + 51,5515) &= 0 \\
 F_{C'2} &= 0,5207 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Al_2O_3

$$\begin{aligned}
 0,9901F_{D'3} &= 0,99 F_{D'1} \\
 0,9901F_{D'3} &= 0,99 \times 126,9089 \\
 F_{D'3} &= 125,6398 / 0,9901 \\
 &= 126,8691 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{D'4} &= 1\% F_{D'3} \\
 &= 0,01 \times 126,8691 \text{ kg/jam} \\
 &= 1,2687 \text{ kg/jam} \\
 (F_{D'1} + F_{D'4}) - (F_{D'2} + F_{D'3}) + 0 - 0 &= 0 \\
 (126,9089 + 1,2687) - (F_{D'2} + 126,8691) &= 0 \\
 F_{D'2} &= 1,2690 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

SiO₂

$$0,9901F_{E'3} = 0,99 F_{E'1}$$

$$0,9901F_{E'3} = 0,99 \times 176,8793$$

$$F_{E'3} = 175,1105 / 0,9901$$

$$= 176,8614 \text{ kg/jam}$$

$$F_{E'4} = 1\% F_{E'3}$$

$$= 0,01 \times 176,8614 \text{ kg/jam}$$

$$= 1,7686 \text{ kg/jam}$$

$$(F_{E'1} + F_{E'4}) - (F_{E'2} + F_{E'3}) + 0 - 0 = 0$$

$$(176,8793 + 1,7686) - (F_{E'3} + 176,8614) = 0$$

$$F_{E'3} = 1,7865 \text{ kg/jam}$$

❖ Massa keluar

- Aliran 2

Aliran keluar Rotary Kiln menuju Scrubber berupa campuran gas CO₂

hasil kalsinasi CaCO₃ dan MgCO₃ serta 1 % padatan.

$$\text{CO}_2 = \text{hasil kalsinasi CaCO}_3 + \text{hasil kalsinasi MgCO}_3$$

$$= (2983,9450 + 207,7377) \text{ kg/jam}$$

$$= 3191,6827 \text{ kg/jam}$$

Padatan yang terikut :

$$\text{CaCO}_3 = 3,6050 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 1,2818 \text{ kg/jam}$$

$$\text{SiO}_2 = 1,7865 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,5207 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaO} = 38,3497 \text{ kg/jam}$$

$$\text{MgO} = 1,9074 \text{ kg/jam}$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(g)} = 41,2454 \text{ kg/jam}$$

- **Aliran 3**

Aliran keluar Rotary Kiln berupa padatan yang masuk ke Rotary Cooler.

Dari perhitungan neraca komponen sebelumnya,

$$\text{CaCO}_3 = 356,8952 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaO} = 3797,3722 \text{ kg/jam}$$

$$\text{MgO} = 188,8334 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 51,5515 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 126,8961 \text{ kg/jam}$$

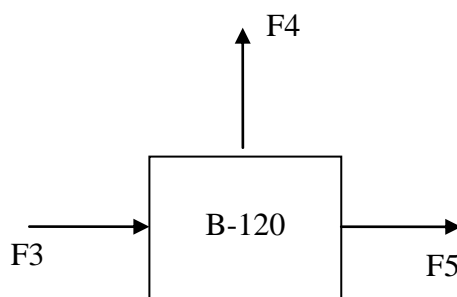
$$\text{SiO}_2 = 176,8614 \text{ kg/jam}$$

Tabel A.6. Neraca Massa sekitar Rotary Kiln (B-110)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	Aliran 1	Aliran 4	Aliran 2	Aliran 3
CaCO ₃	7.138,6244	3,5690	3,6050	356,8952
MgCO ₃	396,5902			
Fe ₂ O ₃	51,5567	0,5318	0,5155	0,5207
Al ₂ O ₃	126,9089	1,3090	1,2690	1,2818
SiO ₂	176,8793	1,8245	1,7686	1,7865
H ₂ O _(l)	41,2454			
CaO		37,9737	38,3497	3.797,3722
MgO		1,8883	1,9074	188,8334
CO ₂			3.191,6827	
H ₂ O _(g)			41,2454	
Total	7.931,8049	46,9841	3.280,3792	4.698,4098
	7.978,78898		7.978,78898	

5. Neraca Massa Rotary Cooler (B-120)

Fungsi : mendinginkan batu kapur keluaran Rotary Kiln sebelum diumpankan ke Reaktor 210.

**Gambar A.6. Blok Diagram Aliran Massa Rotary Cooler (B-120)**

Neraca Massa Total :

$$F_3 = F_4 + F_5$$

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

Aliran 5 adalah aliran keluar Rotary Cooler sebanyak 99% dari padatan masuk (aliran 3) karena terikutnya padatan sebanyak 1% oleh udara pendingin.

Sehingga : $F_4 = 1\% F_3$

$$F_5 = 99\% F_3$$

Neraca massa komponen CaO :

$$F_3 = 3797,3722 \text{ kg/jam}$$

$$F_5 = 3759,3985 \text{ kg/jam}$$

Sehingga

$$F_{G'3} = F_{G'4} + F_{G'5}$$

$$3797,3722 = F_{G'4} + 3759,3985$$

$$F_{G'4} = 37,9737 \text{ kg/jam}$$

❖ Massa masuk

- Aliran 3

Aliran masuk Rotary Cooler berupa keluaran dari Rotary Kiln.

❖ Massa keluar

- Aliran 4

Aliran keluar Rotary Cooler yang masuk ke Rotary Kiln berupa udara beserta padatan terbawa udara pendingin sebanyak 1% dari aliran 3.

$$\text{CaCO}_3 = 1\% \times 356,8952 \text{ kg/jam}$$

$$= 3,5690 \text{ kg/jam}$$

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

$$\text{CaO} = 1\% \times 3797,3722 \text{ kg/jam}$$

$$= 37,9737 \text{ kg/jam}$$

$$\text{MgO} = 1\% \times 188,8334 \text{ kg/jam}$$

$$= 1,8883 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1\% \times 51,5515 \text{ kg/jam}$$

$$= 0,5155 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 1\% \times 126,8961 \text{ kg/jam}$$

$$= 1,2690 \text{ kg/jam}$$

$$\text{SiO}_2 = 1\% \times 176,8614 \text{ kg/jam}$$

$$= 1,7686 \text{ kg/jam}$$

- **Aliran 5**

Aliran keluar Rotary Cooler yang masuk ke Reaktor Slaking berupa padatan sebanyak 99% dari aliran 3.

$$\text{CaCO}_3 = 99\% \times 356,8952 \text{ kg/jam}$$

$$= 353,3262 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaO} = 99\% \times 3797,3722 \text{ kg/jam}$$

$$= 3759,3985 \text{ kg/jam}$$

$$\text{MgO} = 99\% \times 188,8833 \text{ kg/jam}$$

$$= 186,9451 \text{ kg/jam} \quad (\text{sebelumnya H kg/jam pada neraca R-210})$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 99\% \times 51,5515 \text{ kg/jam}$$

$$= 51,0361 \text{ kg/jam} \quad (\text{sebelumnya C kg/jam pada neraca R-210})$$

$$\begin{aligned} \text{Al}_2\text{O}_3 &= 99\% \times 126,8961 \text{ kg/jam} \\ &= 125,6271 \text{ kg/jam} \quad (\text{sebelumnya D kg/jam pada neraca R-210}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= 99\% \times 176,8614 \text{ kg/jam} \\ &= 175,0928 \text{ kg/jam} \quad (\text{sebelumnya E kg/jam pada neraca R-210}) \end{aligned}$$

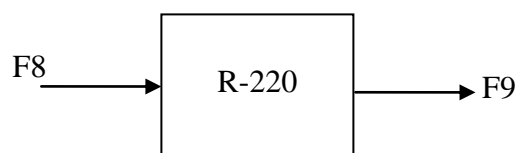
Sehingga neraca massa pada Reaktor 210 terlengkapi dengan diketahuinya jumlah impuritis aliran

Tabel A.7. Neraca Massa Rotary Cooler (B-120)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	Aliran 3	Aliran 4	Aliran 4	Aliran 5
CaO	3.797,3722	37,9737	37,9737	3.759,3985
MgO	188,8334	1,8883	1,8883	186,9451
Fe ₂ O ₃	51,5515	0,5155	0,5155	51,0361
Al ₂ O ₃	126,8961	1,2690	1,2690	125,6271
SiO ₂	176,8613	1,7686	1,7686	175,0928
CaCO ₃	356,8952	3,5690	3,5690	353,3262
Total	4.698,4098	37,9737	37,9737	4.651,4257
	4.698,4098		4.698,4098	

6. Neraca Massa Reaktor 220 (R-220)

Fungsi : mereaksikan antara CaO dan H₂O untuk membentuk slurry



Gambar A.7. Blok Diagram Aliran Massa Reaktor 220 (R-220)

Karena konversi Reaktor 220 adalah 92,632 % maka Ca(OH)_2 keluar R-220 adalah;

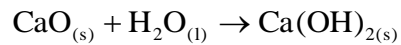
$$\text{Konversi} = \frac{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ yang terbentuk di R-201}}{\text{mol CaO mula-mula masuk R-201}} \times 100 \%$$

$$92,632\% = \frac{\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ yang terbentuk di R-201}}{67,1321} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Ca(OH)}_2 \text{ yang terbentuk di R-220} &= 0,92632 \times 67,1321 \text{ kmol/jam} \\ &= 62,1858 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Stoikiometri reaksi di R-220 berdasarkan reaktan yang masuk pada R-210:

Reaksi Slaking



mula-mula	67,1321	877,1930	-
bereaksi	62,1858	62,1858	-
sisa	4,9463	815,0072	62,1858

dari perhitungan stoikiometri

$$\text{mol CaO mula-mula } 67,1321 \text{ kmol/jam} = 3759,3985 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O mula-mula } 877,1930 \text{ kmol/jam} = 15789,4737 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CaO bereaksi } 62,1858 \text{ kmol/jam} = 3482,4048 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O bereaksi } 62,1858 \text{ kmol/jam} = 1119,3444 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ terbentuk } 62,1858 \text{ kmol/jam} = 4601,7508 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CaO sisa } 4,9463 \text{ kmol/jam} = 276,9925 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O sisa } 815,0072 \text{ kmol/jam} = 14670,1289 \text{ kg/jam}$$

❖ **Massa Masuk**- **Aliran 8**

Aliran ini adalah aliran masuk reaktor berupa CaO, Ca(OH)₂ dan impuritis.

❖ **Massa Keluar**- **Aliran 9**

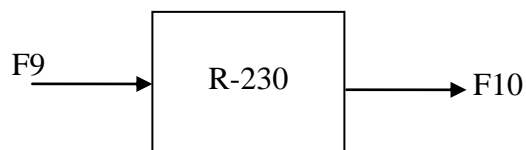
Aliran keluar Reaktor yaitu *slurry* Ca(OH)₂, serta CaO dan H₂O sisa reaksi

Tabel A.8. Neraca Massa Sekitar Reaktor 220 (R-220)

Komponen	Masuk (kg)	Keluar (kg)
	Aliran 8	Aliran 9
CaO	1020,4511	276,9925
H ₂ O	14909,0977	14670,1289
Ca(OH) ₂	3619,3233	4601,7508
MgO	186,9451	186,9451
Fe ₂ O ₃	51,0360	51,03601
Al ₂ O ₃	125,6271	125,6271
SiO ₂	175,0928	175,0928
CaCO ₃	353,3262	353,3262
Total	20440,8994	20440,8994

7. Neraca Massa Reaktor 230 (R-230)

Fungsi : mereaksikan antara CaO dan H₂O untuk membentuk *slurry*



Gambar A.8. Blok Diagram Aliran Massa Reaktor 230 (R-230)

Karena konversi Reaktor 230 adalah 98 % maka Ca(OH)_2 keluar R-230

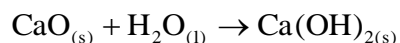
adalah Ca(OH)_2 yang masuk di R-310 yaitu;

$$= 4868,4211 \text{ kg/jam}$$

$$= 65,7894 \text{ kmol/jam}$$

Stoikiometri reaksi di R-230 berdasarkan reaktan yang masuk pada R-210:

Reaksi Slaking



mula-mula	67,1321	877,1930	-
bereaksi	65,7894	65,7894	-
sisa	1,3427	811,4036	65,7894

dari perhitungan stoikiometri

$$\text{mol CaO mula-mula } 67,1321 \text{ kmol/jam} = 3759,3985 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O mula-mula } 877,1930 \text{ kmol/jam} = 15789,4737 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CaO bereaksi } 65,7894 \text{ kmol/jam} = 3864,2106 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O bereaksi } 65,7894 \text{ kmol/jam} = 1184,2105 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol Ca(OH)}_2 \text{ terbentuk } 65,7894 \text{ kmol/jam} = 4868,4211 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol CaO sisa } 1,3427 \text{ kmol/jam} = 75,1880 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol H}_2\text{O sisa } 811,4036 \text{ kmol/jam} = 14605,2632 \text{ kg/jam}$$

❖ **Massa Masuk**- **Aliran 9**

Aliran ini adalah aliran masuk reaktor dari R-220.

❖ **Massa Keluar**- **Aliran 10**

Aliran keluar Reaktor yaitu *slurry* Ca(OH)_2 , serta CaO dan H_2O sisa reaksi dan impuritis.

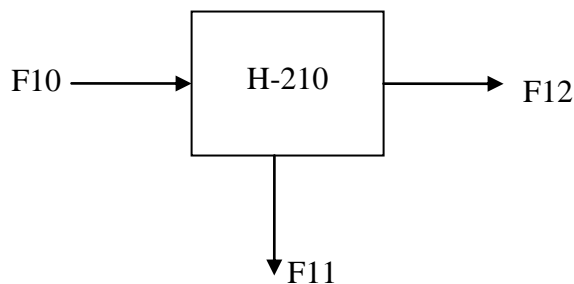
Tabel A.9. Neraca Massa Sekitar Reaktor 230 (R-230)

Komponen	Masuk (kg)	Keluar (kg)
	Aliran 9	Aliran 10
CaO	276,9925	75,1880
H_2O	14670,1289	14605,2632
Ca(OH)_2	4601,7508	4868,4211
MgO	186,9451	186,9451
Fe_2O_3	51,0360	51,03601
Al_2O_3	125,6271	125,6271
SiO_2	175,0928	175,0928
CaCO_3	353,3262	353,3262
Total	20440,8994	20440,8994

8. Neraca Massa Screen (H-210)

Fungsi : memisahkan impuritis dari *slurry* Ca(OH)_2 yang akan diumpankan ke Reaktor 310

Asumsi : impuritis yang ikut lolos merupakan jumlah impuritis dalam produk akhir.



Gambar A.9. Blok Diagram Aliran Massa Screen (H-210)

Neraca Massa Total :

$$F_{10} = F_{11} + F_{12}$$

Untuk menentukan massa air dalam padatan yang tersaring di H-210

digunakan :

Tabel A.10. Komposisi Bulk Density Campuran Umpan

Komponen	Massa (kg/jam)	Bulk Density, ρ_b (kg/m ³)	xi	Xi/pi
CaCO ₃	353,3262	1473,702	0,017285	1,173E-05
Fe ₂ O ₃	51,0360	1105,2765	0,002497	2,259E-06
Al ₂ O ₃	125,6271	1281,48	0,006146	4,796E-06
SiO ₂	175,0928	528,6105	0,008566	1,62E-05
CaO	75,1880	961,11	0,003678	3,827E-06
MgO	186,9451	1041,2025	0,009146	8,784E-06
Ca(OH) ₂	4868,4211	704,814	0,238171	0,0003379
H ₂ O	14605,2632	995,372	0,714512	0,0007178
Total	20440,8994			0,0011034

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas
50.000 ton/tahun

Tabel A.11. Komposisi *True Density* Campuran Umpan

Komponen	Massa (kg/jam)	<i>True Density</i>, ρ_t (kg/m³)	xi	Xi/pi
CaCO ₃	353,3262	2710	0,0172853	6,378E-06
Fe ₂ O ₃	51,0360	1287	0,0024968	1,94E-06
Al ₂ O ₃	125,6271	1762	0,0061459	3,488E-06
SiO ₂	175,0928	2642	0,0085658	3,242E-06
CaO	75,1880	3340	0,0036783	1,101E-06
MgO	186,9451	3580	0,0091456	2,555E-06
Ca(OH) ₂	4868,4211	2340	0,2381706	0,0001018
H ₂ O	14605,2632	995,372	0,7145118	0,0007178
Total	20440,8994			0,0008386

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{\rho_i}} \quad (\text{Coulson, 1983:238})$$

$$\text{Bulk density campuran} = \frac{1}{0,0011034} = 906,3283 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{True density campuran} = \frac{1}{0,0008386} = 1192,8610 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{True density} = \frac{M_s}{V_s}$$

$$1192,8610 = \frac{M_s}{V_s}$$

$$M_s = 1192,8610 V_s \quad (1)$$

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{massa padatan}}{\text{vol padatan} + \text{vol rongga}}$$

$$906,3283 = \frac{M_s}{V_s + V_r}$$

$$M_s = 906,3283 (V_s + V_r) \quad (2)$$

Lampiran A. Neraca Massa

Prarancangan Pabrik Precipitated Calcium Carbonate dari Batu Kapur Kapasitas 50.000 ton/tahun

Substitusi persamaan (2) ke (1)

$$1192,8610 V_s = 906,3283 (V_s + V_r)$$

$$1192,8610 V_s - 906,3283 V_s = 906,3283 V_r$$

$$286,833 V_s = 906,3283 V_r$$

$$V_s = 3,1631 V_r$$

$$\text{Porositas (X)} = \frac{V_r}{V_s + V_r}$$

$$X = \frac{V_r}{3,1631 V_r + V_r}$$

$$X = 0,2402$$

Dimana padatan terfilter sebanyak 935,6495 kg/jam

Dari persamaan (1)

$$M_s = 1192,8610 V_s$$

$$935,6495 = 1192,8610 V_s$$

$$V_s = 0,7844 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rongga (} V_r \text{)} = X (V_s + V_r)$$

$$V_r = 0,2402 (0,7844 + V_r)$$

$$0,7598 V_r = 0,1884$$

$$V_r = 0,2480 \text{ m}^3$$

Karena rongga *cake* hanya terisi dengan air dan diketahui densitas air pada

30 °C adalah 995,327 kg/m³, maka

$$\begin{aligned}
 \text{Massa air dalam rongga} &= V_r \times \rho \\
 &= 0,2480 \times 995,327 \\
 &= 246,8185 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

❖ **Massa masuk**

- **Aliran 10**

Aliran masuk H-210 yang merupakan keluaran dari R-230.

❖ **Massa keluar**

- **Aliran 11**

Aliran keluar H-210 berupa impuritis. Besarnya adalah selisih antara aliran 10 – aliran 12. Sedangkan untuk air, besarnya adalah dari perhitungan volum rongga diatas.

$$\begin{aligned}
 \text{MgO} &= (186,9451 - 12,6263) \text{ kg/jam} \\
 &= 174,3188 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SiO}_2 &= (175,0928 - 6,3131) \text{ kg/jam} \\
 &= 168,7796 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Fe}_2\text{O}_3 &= (51,0360 - 6,3131) \text{ kg/jam} \\
 &= 44,7229 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Al}_2\text{O}_3 &= (125,6271 - 6,3131) \text{ kg/jam} \\
 &= 119,3140 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 246,8185 \text{ kg/jam}$$

- **Aliran 12**

Aliran keluar H-210 yang menuju R-310 berupa *slurry* Ca(OH)₂, air

serta impuritis. Air aliran 12 adalah

$$= (14605,2632 - 246,8185) \text{ kg/jam}$$

$$= 14358,4446 \text{ kg/jam}$$

Air aliran ini sebelumnya disimbolkan dengan H kg/jam pada neraca massa

R-310 sehingga nilai H adalah = 14358,4446 kg/jam.

Sedangkan aliran 20 sebanyak = (H + 1125) kg/jam

$$= 14358,4446 + 1125$$

$$= 15483,5571 \text{ kg/jam}$$

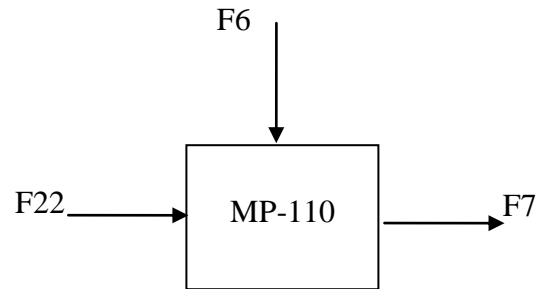
Tabel A.12. Neraca Massa Screen 210 (H-210)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	Aliran 10	Aliran 11	Aliran 11	Aliran 12
CaO	75,1880	75,1880		4.868,4211
MgO	186,9451	174,3188		12,6263
Fe ₂ O ₃	51,0360	44,7229		6,3131
Al ₂ O ₃	125,6271	119,3140		6,3131
SiO ₂	175,0928	168,7796		6,3131
CaCO ₃	353,3262	353,3262		
H ₂ O	14.605,2632	246,8185		14.358,4446
Ca(OH) ₂	3.619,3233			3.619,3233
Total	20.440,8994	1.182,4681		19.258,4313
	20.440,8994		20440,8994	

9. Neraca Massa Mixing Point (MP-110)

Fungsi : mencampurkan air yang akan masuk ke R-210.

Umpan masuk berupa *fresh water* dan *recycle* air keluaran Centrifuge.



Gambar A.10. Blok Diagram Aliran Massa Mixing Point (MP-110)

Neraca massa total :

$$F_6 + F_{22} = F_7$$

Air yang telah tersedia pada aliran 22 sebanyak 14395,2180 kg/jam sehingga sisa air yang perlu disediakan pada aliran 6 adalah

$$\begin{aligned} &= \text{air aliran 7} - \text{air aliran 22} \\ &= (15789,4737 - 14395,2180) \text{ kg/jam} \\ &= 1394,2557 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

❖ **Massa Masuk**- **Aliran 6**

Adalah *fresh water* tambahan yang diperlukan untuk reaksi *slaking*.

- **Aliran 22**

Adalah umpan masuk berupa keluaran Centrifuge.

❖ **Massa Masuk**- **Aliran 7**

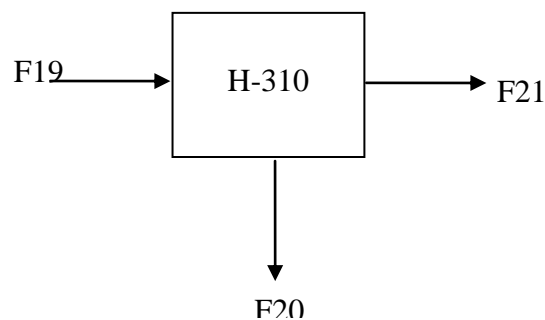
Adalah aliran keluar Mixing Point yang selanjutnya masuk ke R-201.

Tabel A.13 . Neraca Massa Mixing Point (MP-110)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)
	Aliran 6	Aliran 22	Aliran 7
H ₂ O	1.394,2557	14.395,2180	15.789,4737
Total	1.394,2557	14.395,2180	15.789,4737
	15.789,4737		15.789,4737

10. Neraca Massa Screen (H-310)

Fungsi : memisahkan Ca(OH)₂ dari CaCO₃ pesipitasi keluaran R-310.



Gambar A.11. Blok Diagram Aliran Massa Screen (H-310)

Neraca massa total :

$$F_{19} = F_{20} + F_{21}$$

$$\text{True density Ca (OH)}_2 = 2,34 \text{ g/cm}^3 = 2340 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Bulk density Ca(OH)}_2 = 44 \text{ lb/ft}^3 = 704,8141 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{True density} = \frac{M_s}{V_s}$$

$$2340 = \frac{M_s}{V_s}$$

$$M_s = 2340 V_s \quad (1)$$

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{massa padatan}}{\text{vol padatan} + \text{vol rongga}}$$

$$704,814 = \frac{M_s}{V_s + V_r}$$

$$M_s = 704,814 (V_s + V_r) \quad (2)$$

Substitusi persamaan (2) ke (1)

$$2340 V_s = 704,814 (V_s + V_r)$$

$$2340 V_s - 704,814 V_s = 704,814 V_r$$

$$1635,1859 V_s = 704,814 V_r$$

$$V_s = 0,4310 V_r$$

$$\text{Porositas (X)} = \frac{V_r}{V_s + V_r}$$

$$X = \frac{V_r}{0,431V_r + V_r}$$

$$X = 0,6988$$

Dimana Ca(OH)_2 terfilter sebanyak 243,4211 kg/jam

Dari persamaan (1)

$$M_s = 2340 V_s$$

$$243,42 = 2340 V_s$$

$$V_s = 0,10403 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rongga (} V_r \text{)} = X (V_s + V_r)$$

$$V_r = 0,6988 (0,10403 + V_r)$$

$$0,3012 V_r = 0,0727$$

$$V_r = 0,2413 \text{ m}^3$$

Karena rongga *cake* hanya terisi dengan air dan diketahui densitas air pada

30 °C adalah 995,327 kg/m³, maka

$$\text{Massa air dalam rongga (aliran 21) } = V_r \times \rho$$

$$= 995,327 \times 0,2413$$

$$= 240,2152 \text{ kg/jam}$$

❖ **Massa Masuk**- **Aliran 19**

Aliran masuk H-310 ,yaitu aliran keluaran R-310.

❖ **Massa Keluar**- **Aliran 20**

Aliran *slurry* Ca(OH)₂ yang tidak bereaksi dan air.Seluruh *slurry* Ca(OH)₂ tidak tersaring .Air yang terikut pada *slurry* Ca(OH)₂ ini berdasar perhitungan di atas adalah 240,2152 kg/jam.

- **Aliran 21**

Aliran CaCO₃*precipitated* dan impurities yang selanjutnya masuk Centrifuge.Air yang ikut lolos H-310 sebanyak

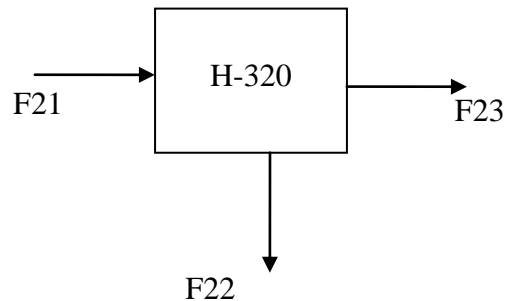
$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= \text{aliran 19} - \text{aliran 20} \\ &= (15483,4446 - 240,2152) \text{ kg/jam} \\ &= 15243,2294 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Tabel A.14. Neraca Massa Screen (H-310)

Komponen	Masuk	Keluar (kg/jam)	
	(kg/jam) Aliran 19	Aliran 20	Aliran 21
Ca(OH) ₂	243,4211	243,4211	243,4211
CaCO ₃ <i>precipitated</i>	6.249,9987		6.249,9987
MgO	12,6263		12,6263
Fe ₂ O ₃	6,3131		6,3131
Al ₂ O ₃	6,3131		6,3131
SiO ₂	6,3131		6,3131
H ₂ O	15.483,4446	240,2152	15.243,2294
Total	22.008,4313	483,6363	21.524,7950
	22.008,4313	22.008,4313	

11. Neraca Massa Centrifuge (H-320)

Fungsi : memisahkan air dari CaCO_3 precipitated keluaran H-310.



Gambar A.12. Blok Diagram Aliran Massa Centrifuge (H-320)

Neraca Massa Total :

$$F_{21} = F_{22} + F_{23}$$

❖ Massa Masuk

- Aliran 21

Aliran masuk Centrifuge ,yaitu aliran keluaran H-310.

❖ Massa Keluar

- Aliran 22

Aliran air yang terpisah dari CaCO_3 precipitated .

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= \text{aliran 21} - \text{aliran 23} \\ &= (15243,2294 - 848,0112) \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$= 14395,2180 \text{ kg/jam}$$

- **Aliran 23**

Aliran keluar Centrifuge berupa padatan yang selanjutnya masuk Rotary Dryer.

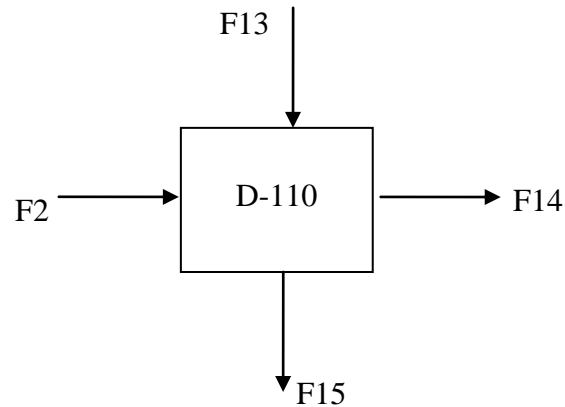
Tabel A.15. Neraca Massa Centrifuge (H-320)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)
	Aliran 21	Aliran 22	Aliran 23
CaCO ₃ precipitated	6.249,9987		6.249,9987
MgO	12,6263		12,6263
Fe ₂ O ₃	6,3131		6,3131
Al ₂ O ₃	6,3131		6,3131
SiO ₂	6,3131		6,3131
H ₂ O	15.243,2294	14.395,2180	848,0112
Total	21.524,7950	14.395,2180	7.129,5770
	21.524,7950	21.524,7950	

12. Neraca Massa Scrubber (D-110)

Fungsi : memisahkan padatan yang terikut gas CO₂.

Asumsi : - padatan terpisah 100%



Gambar A.13. Blok Diagram Aliran Massa Scrubber (D-110)

Neraca Massa Total :

$$F_2 + F_{13} = F_{14} + F_{15}$$

❖ Massa Masuk

- Aliran 2

Aliran masuk Scrubber berupa keluaran dari Rotary Kiln.

- Aliran 13

Campuran gas masuk sebesar 3232,9281 kg/jam (74,8297 kmol/jam) tekanan

1 atm dan suhu 200 °C,

Sehingga volume gas masuk sebesar

$$P V = nRT$$

$$1 \text{ atm} \cdot V = 74,8297 \text{ mol/jam} \times 82,057 \text{ atm cm}^3/\text{mol K} \times 473 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} V &= 2,9043605 \times 10^9 \text{ cm}^3/\text{jam} \\ &= 2904,3605 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Air yang digunakan pada scrubber adalah $0,67 - 1,4 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3 \text{ gas}$ (Othmer, volume 1). Dipilih $1,2 \text{ m}^3 \text{ air}/1000 \text{ m}^3 \text{ gas}$ sehingga volume air yang dibutuhkan untuk *scrubbing* (aliran) adalah sebanyak:

$$\frac{1 \text{ m}^3 \text{ air}}{1000 \text{ m}^3 \text{ gas CO}_2} = \frac{x \text{ m}^3 \text{ air}}{2904,3605 \text{ m}^3 \text{ gas}}$$

$$X = 3,4852 \text{ m}^3$$

Diketahui densitas air pada $30^\circ\text{C} = 995,372 \text{ kg/m}^3$

Air masuk pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm sehingga laju alir massa air

$$\begin{aligned} \text{masuk sebanyak} &= \text{volume air} \times \rho \\ &= 3,4852 \text{ m}^3 \times 995,372 \text{ kg/m}^3 \\ &= 3469,1029 \text{ kg} \end{aligned}$$

❖ Massa keluar

- Aliran 14

Aliran keluar Scrubber berupa gas CO_2 yang telah terpisah dari padatan yang selanjutnya masuk Splitter.

- **Aliran 15**

Aliran keluar Scrubber berupa padatan yang terpisah bersama

air. Dengan efisiensi pemisahan padatan 100% maka jumlah padatan keluar

aliran 15 sama dengan padatan masuk aliran 2 sedangkan jumlah air aliran

ini adalah

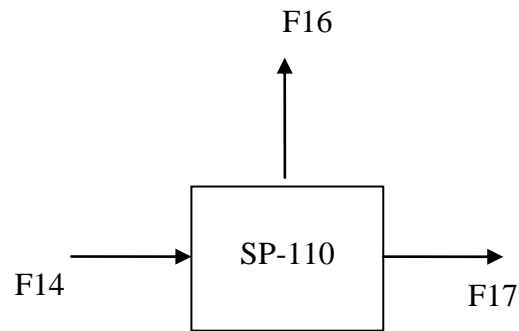
$$\begin{aligned} \text{air aliran 15} &= \text{aliran 13} + \text{aliran 2} \\ &= 3191,6827 \text{ kg /jam} + 41,2454 \text{ kg/jam} \\ &= 3510,3483 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Tabel A.16. Neraca Massa Scrubber (D-110)

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	Aliran 2	Aliran 13	Aliran 14	Aliran 15
CaCO ₃		3,6050		3,6050
Fe ₂ O ₃		0,5207		0,5207
Al ₂ O ₃		1,2818		1,2818
SiO ₂		1,7865		1,7865
CaO		38,3497		38,3497
MgO		1,9074		1,9074
CO ₂		3.191,6827	3.191,6827	
H ₂ O _(g)		41,2454		
H ₂ O _(l)	3.469,1029			3.510,3483
Total	3.469,1029	3.280,3792	3.191,6827	3.557,7994
	6.749,4821		6.749,4821	

13. Neraca Massa Splitter (SP-110)

Fungsi : membagi aliran gas CO₂ keluaran Scrubber yang akan dimasukkan ke Reaktor 310.



Gambar A.14. Blok Diagram Aliran Massa Splitter (SP-110)

Karena jumlah CO₂ yang masuk R-310 sebanyak 2894,7368 kg/jam, sedangkan aliran masuk splitter sebanyak 3191,6827 kg/jam maka rasio pembagi adalah:

$$= 3191,6827 / 2894,7368$$

$$= 1,04$$

❖ Massa Masuk

- Aliran 14

Adalah aliran gas CO₂ keluaran Scrubber.

❖ **Massa Keluar**- **Aliran 16**

Aliran keluar Splitter menuju udara bebas. Jumlah gas CO₂ yang dibuang adalah

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= \text{aliran 14} - \text{aliran 17} \\ &= 3191,6827 - 2894,7362 \\ &= 296,9459 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- **Aliran 17**

Aliran keluar splitter menuju Reaktor 310.

Tabel A.17. Neraca Massa Splitter (SP-110)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	Aliran 4	Aliran 10	Aliran 11	
CO ₂	3191,6827	296,9459	2894,7368	
Total	3191,6827	296,9459	2894,7362	
	3191,6827		3191,6827	