

EKSTRAKSI MAGNESIUM HIDROKSIDA DARI AIR SISA PEMBUATAN GARAM MENGGUNAKAN TEKNOLOGI PENGERINGAN SEMPROT (SPRAY DRYER)

EXTRACTION OF MAGNESIUM HYDROXIDE FROM WATER WASTE OF SALT PRODUCTION USING SPRAY DRYER TECHNOLOGY

Hariyanto Triwibowo¹, Nanang Ruhyat², Dwiyo Nugroho³, & Fajar Yudi Prabowo⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

^{3,4}Badan Riset dan Inovasi Nasional

e-mail : hariyanto76@gmail.com

Diterima tanggal: 25 Juli 2022; diterima setelah perbaikan: 05 Desember 2022 ; Disetujui tanggal: 27 Desember 2022

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan sumberdaya *non* hayati laut. Salah satu potensi tersebut ialah garam laut. Kepulauan Indonesia dipengaruhi oleh iklim basah akibat curah hujan yang menyebabkan kegiatan penambangan garam dari laut untuk kebutuhan konsumsi memiliki kandungan kemurnian NaCl di bawah kebutuhan standar untuk industri. Namun, terdapat kandungan Magnesium Hidroksida $Mg(OH)_2$ yang dapat diekstraksi sebagai nilai tambah produksi garam Indonesia. Metode umum yang digunakan untuk mendapatkan $Mg(OH)_2$ ialah dengan membentuk gel dengan menambahkan soda api ($NaOH$) pada proses penguapan berulang dari air limbah garam (air tua) di tambak garam. Lebih lanjut, gel yang terbentuk perlu dicuci menggunakan air tawar untuk menghilangkan NaCl. Metode umum tersebut membutuhkan waktu pengeringan yang lama dan lahan yang luas. Penelitian ini bertujuan menyediakan teknologi untuk mempercepat ekstraksi $Mg(OH)_2$ berkualitas baik yang memanfaatkan lahan kecil dengan menggunakan spray dryer. Dari hasil percobaan spray dryer, didapatkan hasil waktu rata-rata untuk proses penguapan droplet ialah 2 detik. Sedangkan dari hasil perhitungan waktu tinggal bahan di dalam tabung pengering *spray dryer* berkisar 2,5 detik. Seluruh penguapan droplet untuk melepaskan H_2O terjadi di dalam tabung pengering. Simulasi hasil produksi magnesium hidroksida menggunakan alat spray dryer dalam waktu 24 (dua puluh empat) jam dapat menghasilkan lebih kurang 235,44 kg senilai Rp 9.394.056 dengan tingkat efisiensinya lebih kurang 98%.

Kata kunci: Ekstraksi, Magnesium hidroksida $Mg(OH)_2$, Garam, Teknologi, Spray dryer.

ABSTRACT

Indonesia has great potential to exploit marine non-biological resources. One such potential is sea salt. The Indonesian archipelago is affected by a wet climate due to rainfall which causes salt mining activities from the sea for consumption needs to contain NaCl purity below the standard requirement for the industry. However, there is a content of Magnesium Hydroxide $Mg(OH)_2$ in seawater, which can be extracted as an added value for Indonesian salt production. The general method used to obtain $Mg(OH)_2$ is to form a gel by adding caustic soda ($NaOH$) to the repeated evaporation process of salt wastewater (old water) in salt ponds. Then the gel formed needs to be washed using fresh water to remove NaCl. This common method requires long drying times and large areas of land. This research aims to provide technology to accelerate the extraction of good quality $Mg(OH)_2$ by utilizing a small area using a spray dryer. From the spray dryer experiment results, the average time for the droplet evaporation process was 2 seconds. From the calculation results of the residence time of the material in the spray dryer tube, it is around 2.5 seconds. Therefore, all droplet evaporation to release H_2O occurs in the drying tube. Simulation of Magnesium Hydroxide Production Results Using a Spray dryer within 24 (twenty-four) hours can produce approximately 235.44 kg worth of Rp. 9,394,056 with an efficiency level of approximately 98%.

Keywords: Extraction, Magnesium hydroxide $Mg(OH)_2$, Salt, Technology, Spray Dyer.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan tropis terbesar di dunia yang memiliki 16.771 pulau dan 81.290 km panjang garis pantai (KKP, 2017). Dari posisi geografis sebagai negara kepulauan, Indonesia juga memiliki kekayaan sumberdaya laut *non* hayati berupa kandungan mineral laut. Salah satu sumber daya tersebut ialah garam laut yang melimpah (Kadarwati *et al.*, 2011; Kadarwati *et al.*, 2010). Potensi garam laut yang sangat besar dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk memberikan andil kemakmuran bagi masyarakat Indonesia, khususnya bagi para petani garam dan masyarakat pesisir. Salah satu hal yang menjadi tantangan ialah kualitas garam yang diproduksi dengan dengan cara tradisional. Proses pembuatan garam secara tradisional membutuhkan waktu yang lama, luasan tambak yang besar dan tergantung dari kondisi cuaca (Bramawanto & Abida, 2017; Saepuloh *et al.*, 2019). Hal tersebut yang menyebabkan harga garam dari proses pembuatan tradisional menjadi sangat murah dan kalah bersaing dengan kualitas garam dari luar negeri.

Garam merupakan bahan mineral dan memiliki banyak manfaat dalam penggunaannya. Selain untuk kebutuhan konsumsi masyarakat, garam juga dibutuhkan oleh industri farmasi maupun industri kimia sebagai bahan baku (Iegel *et al.*, 2012; Kashcheev *et al.*, 2020; Machado *et al.*, 2021; Qoyyima & Jumaeri, 2021). Terdapat dua jenis garam yang diperdagangkan yaitu garam untuk konsumsi dan garam untuk industri. Kementerian Perindustrian menunjukkan kebutuhan garam nasional pada tahun 2021 sebanyak 4.606.554 ton, yang terdiri atas 3.860.898 ton garam industri (84%), 325.496 ton garam konsumsi rumah tangga (7%), 397.803 garam kebutuhan komersil (8,5%) dan 22.357 ton garam kebutuhan peternakan dan perkebunan (0,5%). Perbedaan garam industri dengan garam konsumsi terletak pada kandungan NaCl. Garam industri soda kaustik memiliki kandungan NaCl minimal 96 % (SNI 0303:2012), garam industri aneka pangan memiliki kandungan NaCl minimal 97 % (SNI 8207:2016) dan garam konsumsi beriodium memiliki kandungan NaCl minimal 94% (SNI 3556:2016), garam konsumsi diet memiliki kandungan NaCl minimal 60 % (SNI 8208:2016). Sedangkan produksi garam dalam negeri memiliki kandungan NaCl minimal 94,% (K1), kandungan NaCl minimal 90% (K2), kandungan NaCl minimal 85% (K3). Untuk garam kualitas 2 (K2) dan Garam kualitas 3 (K3) sulit diolah industri kecil dan menengah untuk garam sesuai (SNI 3556:2016). Hal tersebut berkaitan dengan iklim

Indonesia yang tropis sehingga curah hujan dan masukan air tawar dari sungai dapat mengurangi kemurnian NaCl di laut. Hal yang menarik untuk dieksplorasi dari kandungan mineral garam dan proses ekstraksinya ialah unsur magnesium yang ada pada kandungan air limbah garam/air tua. Salah satunya adalah pembuatan magnesium hidroksida $Mg(OH)_2$ atau yang dikenal dengan garam magnesium (Iegel *et al.*, 2012; Perry, & Chilton, 1984).

Garam magnesium memiliki potensi ekonomis dan pasar komersial di sektor farmasi. Namun, untuk menekan biaya produksi dan meningkatkan nilai jual, dibutuhkan teknologi baru yang efisien dan optimal dalam hasil. Metode yang umum digunakan ialah dengan menambahkan soda api (NaOH) kedalam air tua untuk membentuk gel $Mg(OH)_2$. Proses selanjutnya ialah mencuci gel tersebut dengan air tawar untuk menghilangkan kandungan NaCl (Suprihatin, 2010). Selain proses tradisional tersebut juga di gunakan proses elektrokimia yang membutuhkan peralatan pada skala laboratorium (Amrulloh *et al.*, 2020) Salah satu teknologi yang dapat digunakan ialah *spray dryer* (Mujamdar, 2011a; Pilarska *et al.*, 2011; Romita, 2011) dan sebagai terobosan dalam peningkatan harga garam magnesium dan biaya produksi yang rendah.

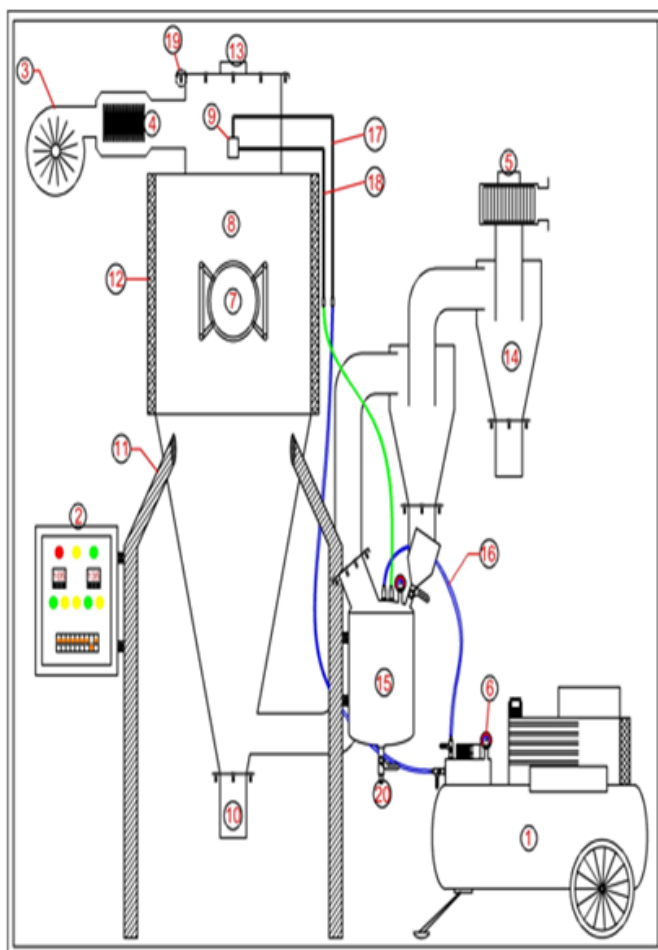
Penelitian ini bertujuan menyediakan teknologi untuk mempercepat ekstraksi $Mg(OH)_2$ berkualitas baik yang memanfaatkan lahan kecil dengan menggunakan *spray dryer*. Penelitian disajikan pada bab sebagai berikut. Bab metodologi menjelaskan metode eksperimen, alat dan bahan. Hasil dari eksperimen dan analisisnya disajikan pada bab hasil dan bab terakhir menjelaskan hasil dari eksperimen dan penjelasan terkait dengan tujuan penelitian.

BAHAN DAN METODE

Metodologi penelitian eksperimen merupakan sebuah kerangka dasar yang digunakan untuk mempermudah di dalam melaksanakan kegiatan ekstraksi magnesium hidroksida dari air sisa pembuatan garam menggunakan teknologi pengeringan semprot (*spray dryer*). kerangka ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Penelitian dimulai dengan mendesain alat *spray dryer*. Perencanaan awal sistem *spray dryer*.

Desain alat *spray dryer*

Alat *spray dryer* terdiri atas komponen mekanik blower, peralatan pemanas (*heater*) dan peralatan untuk reaksi kimia. Peralatan ini didesain mengikuti



Keterangan :

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Kompresor 375 W/220 V | 11. Rangka bahan |
| 2. Kontrol panel | 12. Double wall |
| 3. Blower hembus | 13. Jendela intai depan |
| 4. Heater | 14. Cyclone |
| 5. Blower hisap | 15. Tangki bahan |
| 6. Pressure gauge | 16. Selang udara menuju tangki bahan baku |
| 7. Jendela intai atas | 17. Selang udara menuju atomizer |
| 8. Tabung spray dryer | 18. Selang tangki bahan menuju atomizer |
| 9. Atomizer | 19. Mur – baut |
| 10. Wadah tampung produk | 20. Kran |

Gambar 1. Desain alat spray dryer.

Figure 1. Design of a spray dryer.

peralatan proses kimia (*chemical plant*) yang efektif. (Mujamdar, 2011a; Mujamdar, 2011b).

Data awal

Direncanakan sebuah alat *spray dryer* dengan dimensi tabung pengering : tinggi 60 cm dan diameter 60 cm. Dimensi konis : tinggi 90 cm dan diameter 60 cm, dengan diameter pipa exhaust 4 inch. Sistem pengeringan menggunakan blower hembus 410 m³/jam dengan efisiensi 80%. Temperatur udara pemanas diset sebesar 135°C dan temperatur udara keluar sebesar 90°C pada tekanan 1 atm. Kandungan garam dalam 1 liter air tua sebesar 30% dengan efisiensi *spray dryer* sebesar 98%. Selanjutnya menghitung kapasitas maksimal produksi air tua atau laju volumetrik air tua pada desain *spray dryer* yang sudah direncanakan.

Perhitungan laju maksimal aliran massa air tua

Dengan diketahui perhitungan volume spesifik sebesar 4,3673 m³/kg dan entalpi kelembapan 0,027718 kg H₂O/kg udara, berarti 4,3673 m₃ udara membawa uap air sebanyak 0,027718 kg, sehingga pada sistem

pengeringan menggunakan blower hembus 410 m³/jam dengan efisiensi 80%, didapatkan laju maksimal aliran massa air tua sebesar:

Qf	=	(80% x $\dot{M}_b : Y$) x v
\dot{M}_b	=	80% x 410 m ³ /jam : (4,3673 m ³ udara : 0,027718 kg H ₂ O)
	=	2,082 kg/jam
	=	0,578 gram/detik
Qb	=	$\dot{M}_b : \rho$
	=	2,082 kg/jam : 1025 kg/m ³
	=	2,03 L/jam
	=	0,564 mL/detik

Perhitungan hasil produksi garam dari *spray dryer*

Jika diketahui kandungan garam 30% dalam 1 liter air tua, dengan efisiensi *spray dryer* sebesar 98%, maka dapat dihitung hasil produksi garam dengan menggunakan *spray dryer*. Diketahui laju volumetrik air tua sebesar 2,03 Liter dalam 1 jam, sehingga didapatkan laju aliran massa garam dari 2,03 L air

tua melalui proses *spray dryer* dengan efisiensi 98% adalah sebagai berikut:

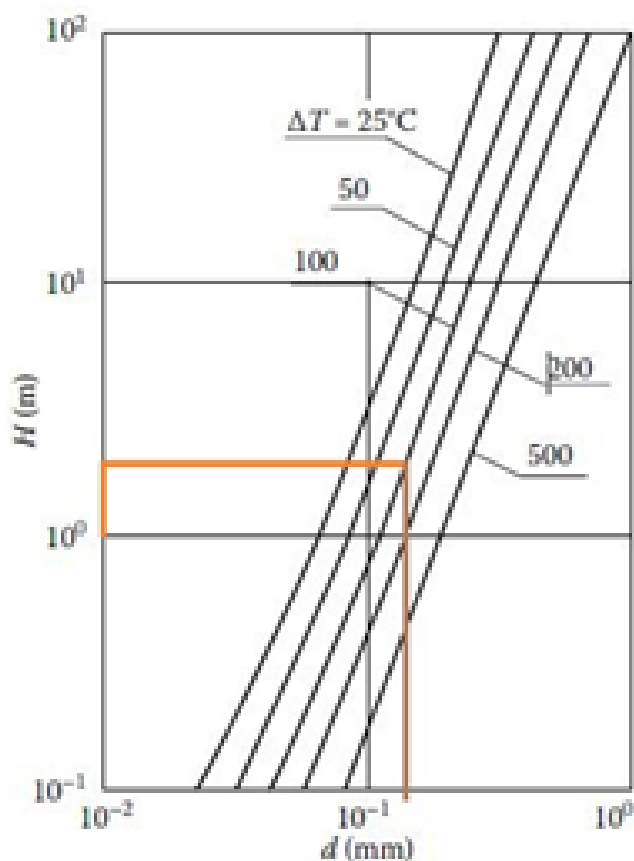
M_{garam}	=	$V_b \times \rho \times 30\% \times 98\%$
	=	$2,03 \text{ dm}^3 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times 30\% \times 98\%$
	=	0,6117 kg

Perhitungan ukuran *droplet*

Diketahui dimensi tabung pengering:

H_{tabung}	=	1,5 m
$\varnothing_{\text{tabung}}$	=	0,6 m
H	=	$H_{\text{tabung}} : \varnothing_{\text{tabung}}$
	=	2,5 m
$T_{\text{udara panas}}$	=	135°C
$T_{\text{air tua}}$	=	280C
ΔT	=	135 – 28
	=	107°C

Sehingga didapatkan diameter *droplet* yang diijinkan untuk masuk ke dalam tabung pengering berdasarkan pada grafik di atas adalah 0,235 mm atau 235 μm .



Gambar 2. Grafik perbandingan tinggi drying chamber dengan diameter *droplet*.

Figure 2. Comparison graph of drying chamber height with *droplet* diameter.

Grafik perbandingan tinggi *drying chamber* dengan diameter *droplet* dapat dilihat pada Gambar 2.

Perhitungan waktu tinggal *droplet* di dalam tabung pengering

Dengan menggunakan perhitungan di atas, maka didapatkan waktu tinggal *droplet* dalam tabung pengering sebagai berikut:

V_{tabung}	=	$(Q_f + Q_b) \times t$
t_{tinggal}	=	$0,28121 \text{ m}^3 : (0,113889 \text{ m}^3/\text{s} + 3,417 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s})$
	=	2,469 detik
	=	2,5 detik

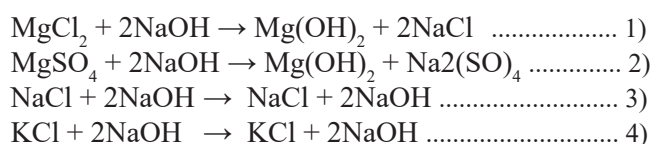
Pembuatan Bahan Baku Magnesium Hidroksida

Berdasarkan hasil uji laboratorium di Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, menunjukkan bahwa kandungan air tua pada 35°Be dalam jumlah 1 Liter tersaji dalam Tabel 1.

Konsentrasi mineral makro di dalam 1 liter air tua 35°Be mengandung Natrium sebesar 113,52664 gram, Kalium sebesar 0,05558 gram, Kalsium sebesar 1,42856 gram, Magnesium sebesar 83,14286 gram, Sulfat sebesar 93,4737 gram, dan Klorida sebesar 175 gram (Tabel 1).

Setelah diketahui kandungan mineral air tua dari hasil laboratorium, maka dapat dihitung konsentrasi senyawa di dalam air tua tersebut dengan menggunakan hukum Dalton. Nilai massa yang terbentuk dengan perhitungan dan ditampilkan ke dalam Tabel 2.

Berdasarkan tabel hasil perhitungan di atas, air tua mengandung senyawa MgSO_4 sebesar 112,352 gram, dan MgCl_2 sebesar 112,121 gram. Proses pembuatan magnesium hidroksida dengan cara penambahan campuran larutan NaOH ke dalam air tua. Dimana jumlah kadar NaOH berdasarkan hasil persamaan reaksi sebagai berikut :



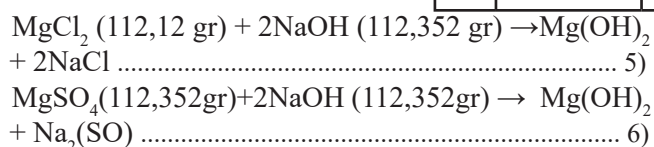
Untuk pemberian jumlah campuran soda api atau NaOH ke dalam air tua, didasarkan dari jumlah konsentrasi senyawa terbesar antara MgCl_2 dan MgSO_4 , serta dilihat dari persamaan reaksi kimia sebagai berikut:

Tabel 1. Konsentrasi mineral makro di dalam air tua 35°Be
 Table 1. Concentration of macro minerals in old water 350Be

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1.	Natrium	mg/L Na	113.526,64	AAS
2.	Kalium	mg/L K	55,58	AAS
3.	Kalsium	mg/L Ca	1.428,56	Kompleksometri
4.	Magnesium	mg/L Mg	83.142,86	Kompleksometri
5.	Sulfat	mg/L SO ₄	93.473,70	Spektrofotometri
6.	Klorida	mg/L Cl	175.000,00	Argentometri

Tabel 2. Konsentrasi mineral makro di dalam air tua 35°Be
 Table 2. Concentration of macro minerals in old water 350Be

No	Senyawa	Konsentrasi (mg/L)
1.	MgSO ₄	112.351,70
2.	NaCl	182.392,44
3.	MgCl ₂	112.120,96
4.	KCl	82,01
5.	CaCl ₂	2.341,20
6.	Cl murni	57.339,10



Sehingga hasil reaksi persamaan 1 dapat ditentukan dari perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned} m(\text{MgCl}_2) &= 112,12 \text{ gram} \\ \text{Mr}(\text{MgCl}_2) &= (\text{N} \times \text{Ar Mg}) + (\text{N} \times \text{Ar Cl}) \\ &= (1 \times 24,31) + (2 \times 35,45) \\ &= 95,21 \text{ g/mol} \\ n(\text{MgCl}_2) &= m : \text{Mr} \\ &= 112,12 : 95,21 \\ &= 1,1776 \text{ mol} \\ \text{Molaritas} &= n : V \\ &= 1,1776 \text{ mol} : 1 \text{ Liter} \\ &= 1,1776 \text{ M} \\ m(2\text{NaOH}) \text{ kadar } 98\% &= 2 \times (98\% \times 112,352 \text{ gram}) \\ &= 220,209 \text{ gram} \\ \text{Mr}(\text{NaOH}) &= (\text{N} \times \text{Ar Na}) + (\text{N} \times \text{Ar O}) + (\text{N} \times \text{Ar H}) \\ &= (2 \times 22,99) + (2 \times 16) + (2 \times 1,008) \\ &= 79,996 \text{ g/mol} \\ n(\text{NaOH}) &= m : \text{Mr} \\ &= 220,209 : 79,996 \\ &= 2,753 \text{ mol} \\ \text{Molaritas} &= n : V \\ &= 2,753 : 1 \text{ Liter} \\ &= 2,753 \text{ M} \end{aligned}$$

Kemudian memeriksa pereaksi sebagai pembatas reaksi:

1. Jika (MgCl₂) sebanyak 1,1776 mol habis bereaksi, maka dibutuhkan NaOH sebanyak = (2/1) x 1,1776 mol = 2,3552 mol. Karena jumlah mol NaOH yang ada sebanyak 2,753 mol, maka reaksi yang menyebabkan (MgCl₂) habis bereaksi dapat berlangsung.
2. Jika NaOH sebanyak 2,753 mol habis bereaksi, maka dibutuhkan (MgCl₂) sebanyak = (1/2) x 2,753 mol = 1,3765 mol. Karena jumlah mol (MgCl₂) yang ada sebanyak 1,1776 mol, maka reaksi yang menyebabkan NaOH habis bereaksi tidak dapat berlangsung.

Karena NaOH yang ada mencukupi kebutuhan untuk menghabiskan (MgCl₂), maka reaksi tersebut lebih mungkin berlangsung. Jadi (MgCl₂) sebagai zat pembatas reaksi, sehingga:

$$\begin{aligned} n(\text{MgCl}_2) &= n(\text{Mg(OH)}_2) + n(\text{NaCl}) \\ 1 \times 1,1776 &= 1(\text{Mg(OH)}_2) + 2(\text{NaCl}) \\ \text{Mg(OH)}_2 &= (1/3) \times 1,1776 \\ &= 0,39253 \text{ mol} \\ 2\text{NaCl} &= 1,1776 - 0,39253 \\ &= 0,78507 \text{ mol} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan persamaan massa Mg(OH)₂+2NaCl sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mr}(\text{Mg(OH)}_2) &= (\text{N} \times \text{Ar Mg}) + (\text{N} \times \text{Ar O}) + (\text{N} \times \text{Ar H}) \\ &= (1 \times 24,31) + (2 \times 16) + (2 \times 1,008) \\ &= 57,318 \text{ g/mol} \\ m(\text{Mg(OH)}_2) &= n \times \text{Mr} \\ &= 0,39253 \text{ mol} \times 57,318 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mr (NaCl)} &= 22,499 \text{ gram} \\
 &= (N \times \text{Ar Na}) + (N \times \text{Ar Cl}) \\
 &= (2 \times 22,99) + (2 \times 35,45) \\
 &= 116,88 \text{ g/mol} \\
 m (\text{NaCl}) &= n \times \text{Mr} \\
 &= 0,78507 \text{ mol} \times 116,88 \text{ g/mol} \\
 &= 91,759 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Hasil reaksi persamaan 2 dapat ditentukan dari perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 m (\text{MgSO}_4) &= 112,352 \text{ gram} \\
 \text{Mr (MgSO}_4) &= (N \times \text{Ar Mg}) + (N \times \text{Ar S}) + (N \times \text{Ar O}) \\
 &= (1 \times 24,31) + (1 \times 32,06) + (4 \times 16) \\
 &= 120,37 \text{ g/mol} \\
 n (\text{MgSO}_4) &= m : \text{Mr} \\
 &= 112,352 : 120,37 \\
 &= 0,93339 \text{ mol} \\
 \text{Molaritas} &= n : V \\
 &= 0,93339 \text{ mol} : 1 \text{ Liter} \\
 &= 0,93339 \text{ M} \\
 m (2\text{NaOH}) \text{ kadar } 98\% &= 2 \times (98\% \times 112,352 \text{ gram}) \\
 &= 220,209 \text{ gram} \\
 \text{Mr (NaOH)} &= (N \times \text{Ar Na}) + (N \times \text{Ar O}) + (N \times \text{Ar H}) \\
 &= (2 \times 22,99) + (2 \times 16) + (2 \times 1,008) \\
 &= 79,996 \text{ g/mol} \\
 n (\text{NaOH}) &= m : \text{Mr} \\
 &= 220,209 : 79,996 \\
 &= 2,753 \text{ mol} \\
 \text{Molaritas} &= n : V \\
 &= 2,753 : 1 \text{ Liter} \\
 &= 2,753 \text{ M}
 \end{aligned}$$

mol = 1,3765 mol. Karena jumlah mol (MgSO_4) yang ada sebanyak 0,93339 mol, maka reaksi yang menyebabkan NaOH habis bereaksi tidak dapat berlangsung.

Karena NaOH yang ada mencukupi kebutuhan untuk menghabiskan (MgSO_4), maka reaksi tersebut lebih mungkin berlangsung. Jadi (MgSO_4) sebagai zat pembatas reaksi, sehingga:

$$\begin{aligned}
 n (\text{MgSO}_4) &= n (\text{Mg(OH)}_2) + n (\text{Na}_2(\text{SO}_4)) \\
 1 \times 0,93339 &= 1 (\text{Mg(OH)}_2) + 1 (\text{Na}_2(\text{SO}_4)) \\
 \text{Mg(OH)}_2 &= (1/2) \times 0,93339 \\
 &= 0,466695 \text{ mol} \\
 \text{Na}_2(\text{SO}_4) &= \text{Mg(OH)}_2 \\
 &= 0,466695 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan persamaan massa $\text{Mg(OH)}_2 + \text{Na}_2(\text{SO}_4)$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Mr (Mg(OH)}_2) &= (N \times \text{Ar Mg}) + (N \times \text{Ar O}) + (N \times \text{Ar H}) \\
 &= (1 \times 24,31) + (2 \times 16) + (2 \times 1,008) \\
 &= 57,318 \text{ g/mol} \\
 m (\text{Mg(OH)}_2) &= n \times \text{Mr} \\
 &= 0,466695 \text{ mol} \times 57,318 \text{ g/mol} \\
 &= 26,75 \text{ gram} \\
 \text{Mr Na}_2(\text{SO}_4) &= (N \times \text{Ar Na}) + (N \times \text{Ar S}) + (N \times \text{Ar O}) \\
 &= (2 \times 22,99) + (1 \times 32,06) + (4 \times 16) \\
 &= 142,04 \text{ g/mol} \\
 m (\text{NaCl}) &= n \times \text{Mr} \\
 &= 0,466695 \text{ mol} \times 142,04 \text{ g/mol} \\
 &= 66,289 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Kemudian memeriksa pereaksi sebagai pembatas reaksi:

1. Jika (MgSO_4) sebanyak 0,93339 mol habis bereaksi, maka dibutuhkan NaOH sebanyak $= (2/1) \times 0,93339 \text{ mol} = 1,86678 \text{ mol}$. Karena jumlah mol NaOH yang ada sebanyak 2,753 mol, maka reaksi yang menyebabkan (MgSO_4) habis bereaksi dapat berlangsung.
2. Jika NaOH sebanyak 2,753 mol habis bereaksi, maka dibutuhkan (MgSO_4) sebanyak $= (1/2) \times 2,753$

Pencampuran air tua dan soda api (NaOH) dilakukan dengan cara mengaduk larutan tersebut sampai soda api (NaOH) benar-benar terlarut. Proses pengadukan larutan dapat dilakukan selama kurun waktu 30 menit atau lebih, tergantung jumlah campuran yang akan dilarutkan di dalam air tua. Kemudian larutan diendapkan selama satu jam lebih agar menghasilkan endapan magnesium hidroksida. Hasil reaksi yang dihasilkan adalah endapan Mg(OH)_2 , H_2O , NaCl, Na_2SO_4 , dan KCl.

Tabel 3. Konsentrasi senyawa makro hasil Perhitungan
Table 3. Concentration of macro compounds calculated results

Senyawa	Jumlah mol	Konsentrasi (mg/L)	Total (mg/L)
Mg(OH)_2	0,8592	49.249	207.297
2NaCl	0,785	91.759	
$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$	0,4667	66.289	

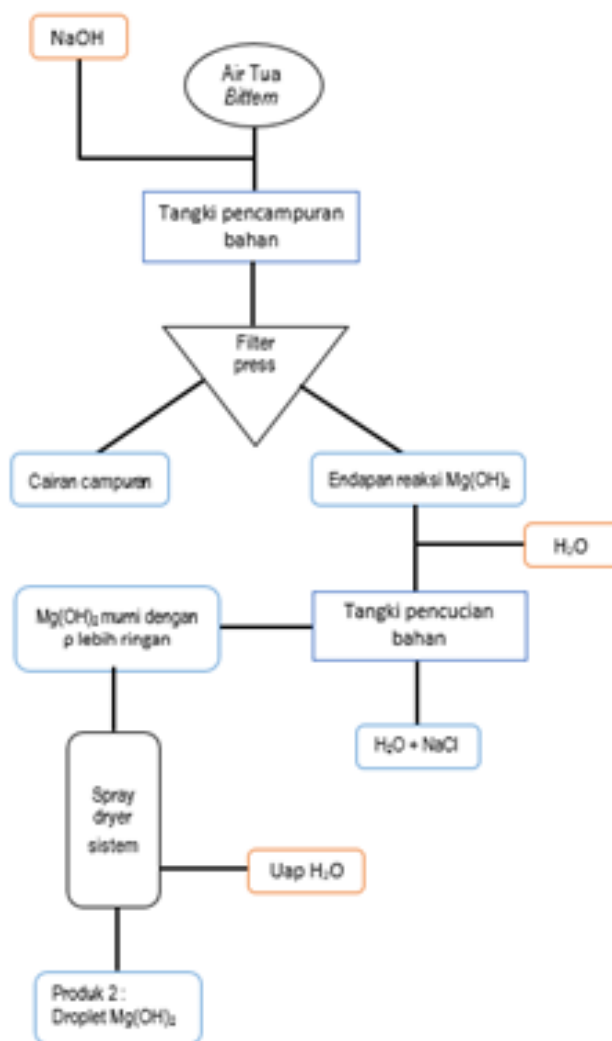
Diagram alir pembuatan magnesium hidroksida $\text{Mg}(\text{OH})_2$ dapat dilihat pada Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah didapatkan bahan baku magnesium hidroksida, langkah selanjutnya adalah persiapan uji coba *spray dryer*. Hal yang perlu diperhatikan adalah pengecekan fungsi kerja bagian-bagian alat agar pada saat running, *spray dryer* dapat bekerja secara maksimal. Uji percobaan *spray dryer* juga dilakukan pengamatan dan pengambilan data berdasarkan waktu. Data yang telah didapatkan dibutuhkan untuk menganalisa kerja *spray dryer* dalam menghasilkan produk garam magnesium hidroksida. Data yang diambil adalah Temperatur udara masuk, Temperatur dalam tabung, Temperatur udara keluar, Tekanan tangki bahan, dan Tekanan udara atomizer.

Pengambilan data uji percobaan pada *spray dryer*
Percobaan ini ditujukan untuk mengetahui laju penguapan yang dihasilkan dalam perpaduan antara besaran suhu tabung dengan penyetelan pengkabutan atomizer. Sehingga dapat diketahui pengaruh ukuran *droplet* yang dikabutkan dengan perbedaan suhu antara suhu udara pemanas dengan suhu air tua dan perbandingan antara tinggi dengan diameter tabung pengering. Dalam percobaan menggunakan tiga termometer untuk mengetahui suhu udara pemanas yang dihasilkan oleh blower, suhu udara di dalam tabung, dan suhu udara keluar dari *cyclone*.

Dari data yang didapatkan dari hasil percobaan dan digambarkan pada grafik (gambar 4), dapat disimpulkan bahwa tingginya perbedaan antara suhu udara pemanas yang diberikan ke dalam sistem terhadap suhu awal *droplet* sangat berpengaruh terhadap ukuran diameter pengkabutan *droplet* yang diijinkan masuk ke dalam



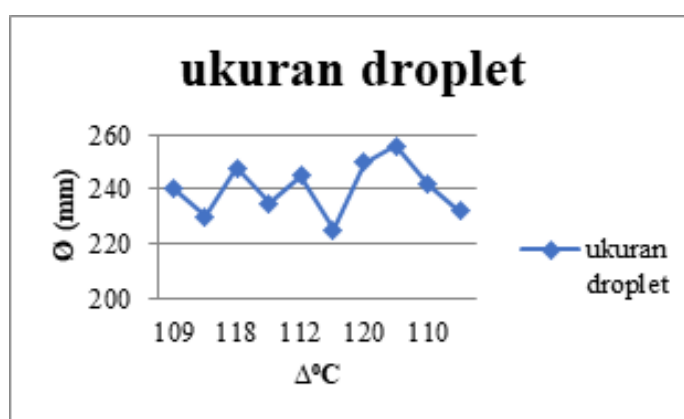
Gambar 3. Diagram alir pembuatan magnesium hidroksida $\text{Mg}(\text{OH})_2$.
Figure 3. Flowchart for the manufacture of magnesium hydroxide $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Tabel 4. Temperatur dan tekanan spray dryer terhadap pengkabutan atomizer
Table 4. Spray dryer temperature and pressure on atomizer misting

No	TInlet °C	TTabung °C	TExhaust °C	PTangki bahan (psi)	PSprayer (psi)	Waktu (menit)
1	57	137	90	43	80	00:05
2	64	132	93	42	90	00:10
3	70	146	94	60	90	00:20
4	53	135	91	64	90	00:30
5	51	140	89	70	80	00:40
6	71	129	81	54	90	00:50
7	75	148	87	50	90	00:60
8	60	151	87	48	110	00:70
9	49	138	85	42	85	00:80
10	70	139	90	50	90	00:90
11	82	138	90	66	80	00:100
12	77	134	86	68	80	00:110
13	83	133	98	66	75	00:120

Tabel 5. Ukuran droplet terhadap perbedaan temperatur pada H = 2,5 m
Table 5. Droplet size for temperature differences at H = 2.5 m

No	TInlet °C	TTabung °C	TExhaust °C	PTangki bahan (psi)	PSprayer (psi)
1	57	137	90	43	80
2	64	132	93	42	90
3	70	146	94	60	90
4	53	135	91	64	90
5	51	140	89	70	80
6	71	129	81	54	90
7	75	148	87	50	90
8	60	151	87	48	110
9	49	138	85	42	85
10	70	139	90	50	90
11	82	138	90	66	80
12	77	134	86	68	80
13	83	133	98	66	75



Gambar 4. Diameter droplet terhadap perbedaan temperatur pada H = 2,5 m.
Figure 4. Droplet diameter to temperature difference at H = 2.5 m.

tabung pengering. Hal ini disesuaikan dengan laju penguapan *droplet* untuk melepas H_2O dimana sebanding dengan kalor yang diserap dari dalam

tabung pengering. Besaran kalor yang ada di dalam tabung pengering tergantung dari besar kecilnya perbedaan suhu antara udara pemanas dengan suhu

awal *droplet* dan sebanding dengan volumenya. Jika diameter *droplet* yang dikabutkan lebih besar daripada ukuran diameter *droplet* pada grafik di atas, maka ada kemungkinan penguapan pada *droplet* tidak sempurna seperti hasil penguapan masih mengandung air. Hal ini disebabkan Htabung *spray dryer* tetap sehingga jarak yang dibutuhkan *droplet* untuk melepas H₂O tidak cukup.

Langkah selanjutnya adalah menganalisa kerja atomizer dalam menghasilkan *droplet* yang direncanakan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa laju aliran massa bahan air tua adalah 1,5 L/jam, sehingga dapat dihitung kalor yang dibutuhkan dalam proses penguapan atau pelepasan H₂O pada *droplet*. Perhitungan ini menunjukkan kalor, perbedaan suhu, dan massa bahan yang dibutuhkan dalam sistem *spray dryer* sesuai dengan perencanaan awal (Tabel 6).

Diketahui:

$$\begin{aligned} Q_b &= 1,5 \text{ L/jam} \\ &= 0,000417 \text{ L/detik} \\ \rho &= 0,000767 \text{ kg/L} \\ c_p &= 1867 \text{ J/kg.K} \\ V &= 4,3673 \text{ m}^3/\text{kg} \\ \Delta T &= 1350 - 28^\circ\text{C} \\ &= 107^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan laju aliran massa bahan sebesar :

$$\begin{aligned} \dot{M}_b &= Q_b : V \\ &= 0,000417 \text{ L/detik} : 4,3673 \text{ m}^3/\text{kg} \\ &= 9,548 \times 10^{-8} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung daya yang dibutuhkan untuk proses penguapan *droplet* sebesar :

$$\begin{aligned} &= \Delta T \times \dot{M}_b \times c_p \\ &= 107^\circ\text{C} \times 9,548 \times 10^{-8} \text{ kg/s} \times 1867 \text{ J/kg.K} \end{aligned}$$

$$= 0,0190592 \text{ Watt (Joule/second)}$$

Kemudian mencari massa *droplet* dalam 1 detik :

$$\begin{aligned} m_b &= Q_b \times \rho \times t \\ &= 0,000417 \text{ L/detik} \times 0,000767 \text{ kg/L} \times 1 \text{ detik} \\ &= 0,0003196 \text{ gram} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan massa bahan selama 1 detik, maka dapat diketahui kebutuhan kalor dalam proses penguapan selama 1 detik :

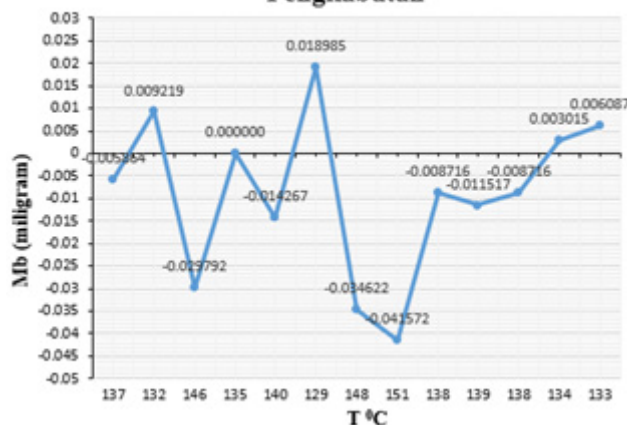
$$\begin{aligned} q_b &= \Delta T \times m_b \times c_p \\ &= 107^\circ\text{C} \times 3,196 \times 10^{-7} \text{ kg/s} \times 1867 \text{ J/kg.K} \\ &= 0,06384 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dari data yang didapatkan melalui hasil percobaan dan digambarkan pada grafik (gambar 5), dapat disimpulkan bahwa pengkabutan atomizer tidak stabil, sedangkan kalor dan laju aliran massa udara yang diberikan ke dalam sistem di atur stabil / konstan. Pengkabutan yang tidak stabil dapat berpengaruh terhadap hasil *droplet* yang dikeringkan. Jika pengkabutan air tua terlalu besar, maka kebutuhan kalor untuk proses penguapan H₂O meningkat dan melebihi kalor yang diberikan ke dalam sistem, sehingga pelepasan H₂O pada *droplet* tidak sempurna. Hasil produk akan terlihat basah. Sedangkan jika pengkabutan air tua masih dalam range kapasitas yang direncanakan dan kebutuhan kalor untuk proses penguapan H₂O masih dapat ditoleransi dari kalor yang diberikan ke dalam sistem, maka pelepasan H₂O pada *droplet* dapat berjalan sempurna. Sehingga hasil produk terlihat kering. Setelah diketahui diameter *droplet* dari “Grafik perbandingan tinggi *drying chamber* dengan diameter *droplet*” yakni sebesar 0,256 mm, maka dapat diketahui volume dari *droplet* tersebut sebesar :

Tabel 6. Laju aliran massa pada atomizer
Table 6. Mass flow rates on the atomizer

No	ΔT	c_p (J/kg.K)	q (Joule)	m_b (g) spray	m_b (g) normal	Δm_b (mg)
1	109	1867	0,0638	0,000314	0,000320	-0,005864
2	104	1867	0,0638	0,000329	0,000320	0,009219
3	118	1867	0,0638	0,000290	0,000320	-0,029792
4	107	1867	0,0638	0,000320	0,000320	0,000000
5	112	1867	0,0638	0,000305	0,000320	-0,014267
6	101	1867	0,0638	0,000339	0,000320	0,018985
7	120	1867	0,0638	0,000285	0,000320	-0,034622
8	123	1867	0,0638	0,000278	0,000320	-0,041572
9	110	1867	0,0638	0,000311	0,00320	-0,008716
10	111	1867	0,0638	0,000308	0,000320	-0,011517
11	110	1867	0,0638	0,000311	0,000320	-0,008716
12	106	1867	0,0638	0,000323	0,000320	0,003015
13	105	1867	0,0638	0,000326	0,000320	0,006087

Laju Aliran Massa Atomizer dalam Proses Pengkabutan



Gambar 5. Grafik laju aliran massa atomizer dalam proses pengkabutan.
Figure 5. Graph of the mass flow rate of the atomizer in the fogging process.

$$\begin{aligned} \text{Ødroplet} &= 0,256 \text{ mm} &= 0,005268 \text{ mm}^3 \times 0,000767 \text{ kg/L} \\ \text{Vdroplet} &= \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 &= 4,041 \times 10^{-6} \text{ mg} \\ &= 0,00878 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan jumlah *droplet* sebanyak:

$$\begin{aligned} n \text{ droplet} &= Q_b : V_{\text{droplet}} \\ &= 0,000417 \text{ L/detik} : 0,00878 \text{ mm}^3 \\ &= 47456 \text{ butir/detik} \\ m \text{ droplet} &= V_{\text{droplet}} \times \rho \\ &= 0,00878 \text{ mm}^3 \times 0,000767 \text{ kg/L} \\ &= 6,734 \times 10^{-6} \text{ mg} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan massa H_2O adalah 60% dari total volume *droplet* maka didapatkan:

$$\begin{aligned} V \text{ H}_2\text{O droplet} &= 60\% \times V_{\text{droplet}} \\ &= 60\% \times 0,00878 \text{ mm}^3 \\ &= 0,005268 \text{ mm}^3 \\ m \text{ H}_2\text{O droplet} &= V \text{ H}_2\text{O droplet} \times \rho \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan kebutuhan kalor selama 1 detik sebesar:

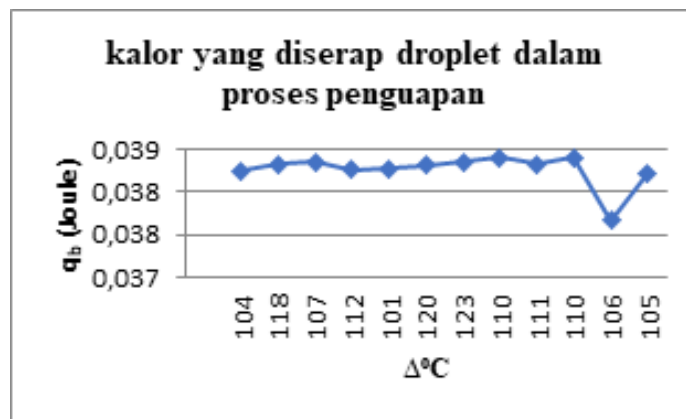
$$\begin{aligned} q \text{ droplet} &= \Delta T \times m \times c_p \\ &= 8,072 \times 10^{-7} \text{ Joule} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap pada proses penguapan *droplet* dapat dilihat dalam Tabel 7.

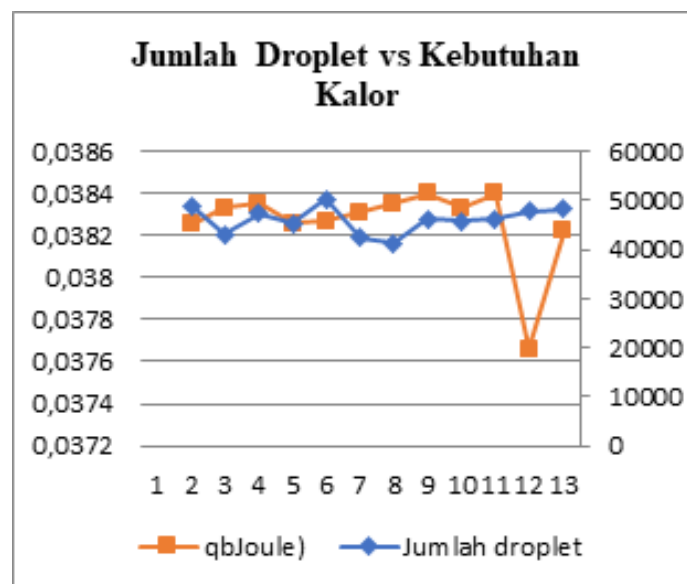
Gambar 6 menunjukkan kestabilan energi panas yang diserap oleh H_2O untuk berubah fase menjadi uap air. Walaupun terdapat kenaikan dan penurunan energi panas yang tidak begitu signifikan, tetapi masih dapat ditoleransi dalam perencanaan sistem *spray dryer*. Dari gambar 7 dapat diketahui bahwa adanya ketidakstabilan dalam pengkabutan air tua oleh atomizer. Gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa jumlah *droplet*

Tabel 7. Kalor yang diserap pada proses penguapan *droplet*
Table 7. Heat absorbed in the *droplet* evaporation process

No	ΔT	mb (mg) spray	Jumlah droplet	Vdroplet (mL)	V 60% H_2O (mL)	m H_2O (mg)	q H_2O (Joule)
1	109	0,314	46585	0,4090	0,2454	0,188	0,03825
2	104	0,329	48825	0,4286	0,2572	0,197	0,03825
3	118	0,290	43032	0,3778	0,2266	0,174	0,03833
4	107	0,320	47456	0,4166	0,2500	0,192	0,03835
5	112	0,305	45337	0,3980	0,2388	0,183	0,03826
6	101	0,339	50275	0,4414	0,2648	0,203	0,03827
7	120	0,285	42315	0,3715	0,2229	0,171	0,03831
8	123	0,278	41283	0,3624	0,2174	0,167	0,03835
9	110	0,311	46162	0,4053	0,2431	0,187	0,03840
10	111	0,308	45746	0,4016	0,2409	0,185	0,03833
11	110	0,311	46162	0,4053	0,2431	0,187	0,03840
12	106	0,323	47904	0,4206	0,2523	0,194	0,03766
13	105	0,326	48360	0,4246	0,2547	0,195	0,03822



Gambar 6. Grafik kebutuhan kalor pada proses pengkabutan atomizer.
Figure 6. Graph of heat requirements in the atomizer fogging process.



Gambar 7. Grafik jumlah droplet vs kebutuhan kalor.
Figure 7. Graph of the number of droplets vs. the need for heat.

yang dikabutkan oleh atomizer mengalami perbedaan yang signifikan. Akan tetapi jika dibandingkan antara gambar 6 dengan gambar 7 dapat disimpulkan bahwa ketidakstabilan pengkabutan atomizer dalam menghasilkan jumlah *droplet* masih dapat ditoleransi oleh sistem karena dengan melihat kebutuhan kalor yang diserap oleh H_2O dalam proses penguapan masih terlihat stabil.

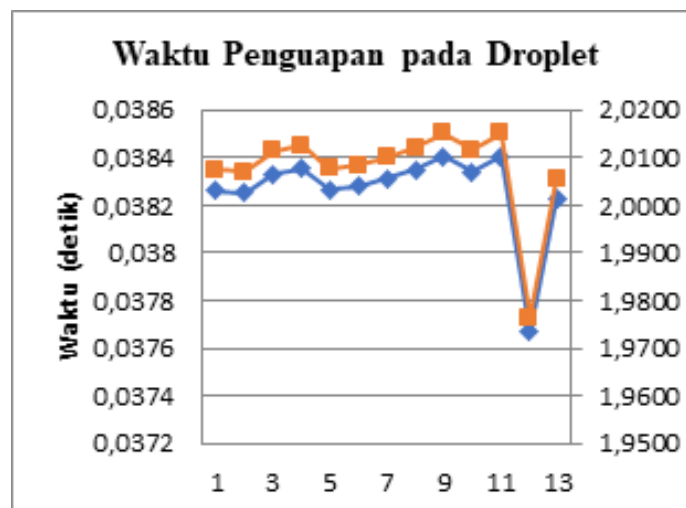
Selain itu faktor penting lainnya adalah ukuran *droplet* dari hasil pengkabutan atomizer. Jika ukuran *droplet* dari hasil pengkabutan atomizer melebihi gambar 2. “Grafik perbandingan tinggi *drying chamber* dengan diameter *droplet*” maka proses pengeringan *droplet* tidak berjalan sempurna walaupun jumlah *droplet* yang dikabutkan lebih sedikit dari perencanaan desain *spray dryer*. Hal ini dikarenakan semakin besar ukuran *droplet* yang dikabutkan maka waktu yang dibutuhkan

untuk proses penguapan akan berjalan semakin lama dan begitu juga sebaliknya.

Data yang didapatkan dari hasil percobaan dan digambarkan pada grafik menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses penguapan oleh *droplet* dalam sistem *spray dryer* adalah rata-rata 2 detik. Sedangkan dari hasil perhitungan waktu tinggal bahan di dalam tabung pengering *spray dryer* berkisar 2,5 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penguapan *droplet* untuk melepaskan H_2O semua terjadi di dalam tabung pengering, walaupun diketahui pada gambar 7. “Grafik jumlah *droplet* vs kebutuhan kalor” menunjukkan jumlah *droplet* yang dikabutkan tidak stabil. Besar kecilnya waktu yang dibutuhkan dalam proses penguapan dipengaruhi oleh kandungan H_2O dari *droplet*, jumlah *droplet* yang dikabutkan, dan ukuran *droplet* yang dihasilkan oleh atomizer.

Tabel 8. Waktu penguapan droplet
Table 8. Droplet evaporation time

No	ΔT	Jumlah droplet	m H ₂ O (mg)	q (Joule)	q (Watt)	t (detik)
1	109	46585	0,188	0,038259	0,01905	2,0074
2	104	48825	0,197	0,038251	0,01905	2,0070
3	118	43032	0,174	0,038333	0,01905	2,0113
4	107	47456	0,92	0,038356	0,01905	2,0125
5	112	45337	0,183	0,038266	0,01905	2,077
6	101	50275	0,203	0,038279	0,01905	2,0084
7	120	42315	0,171	0,038311	0,01905	2,0101
8	151	41283	0,167	0,038350	0,01905	2,0122
9	138	46162	0,187	0,038404	0,01905	2,0150
10	139	45746	0,185	0,038339	0,01905	2,0116
11	138	46162	0,187	0,038404	0,01905	2,0150
12	134	47904	0,194	0,037668	0,01905	1,9764
13	133	48360	0,195	0,038227	0,01905	2,0057



Gambar 7. Grafik jumlah droplet vs kebutuhan kalor.
Figure 7. Graph of the number of droplets vs. the need for heat.

Pengujian Laboratorium Konsentrasi Senyawa dan Mineral Hasil Produk *Spray dryer*

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa hasil produk garam magnesium yang dikeringkan menggunakan *spray dryer* mengandung Natrium sebesar 73,5 gram, Kalium sebesar 20 gram, Kalsium sebesar 0 gram, Magnesium sebesar 100,1 gram, Sulfat sebesar 77,5 gram, Klorida sebesar 35,3 gram. Jumlah total keseluruhan garam magnesium yang diuji laboratorium sebesar 306,4 gram dengan menggunakan metode analisa Flamefotometri, Kompleksometri, Spektrofotometri, dan Argentometri seperti terlihat dalam Tabel 9.

Simulasi Hasil Produksi Magnesium Hidroksida Mg(OH)₂ berdasarkan kinerja proses *Spray dryer*.

Proses pengeringan garam magnesium melalui *spray dryer* akan lebih cepat dan hasil produksi lebih banyak. Teknologi *spray dryer* memang membutuhkan biaya yang begitu besar, akan tetapi harga jual garam magnesium yang begitu besar jika dibandingkan dengan harga garam konsumsi.

Diketahui:

% garam = 60%
Mbahan = 16,35 kg/jam
mgaram = 9,81 kg/jam
mair = 6,54 kg/jam

Sehingga harga garam magnesium selama 24 jam *non-stop* adalah

tproduksi = 24 jam
mgaram = 9,81 kg/jam

Tabel 9. hasil uji laboratorium data analisa hasil spray dryer
 Table 9. Laboratory test results, data analysis of spray dryer results

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	Natrium	% Na	7,35	Flamefotometri
2	Kalium	% K	2,00	Flamefotometri
3	Kalsium	% Ca	0,00	Kompleksometri
4	Magnesium	% Mg	10,01	Kompleksometri
5	Sulfat	% SO ₄	7,75	Spektrofotometri
6	Klorida	% Cl	3,53	Argentometri

harga pasar = Rp 22.800 (kemurnian 91,3%)
 harga produksi = tproduksi x mgaram x harga pasar
 = 24 jam x 9,81 kg/jam x Rp 22.800
 = Rp 9.394.056

Perhitungan Total Daya *Spray dryer*

Daya heater = 6 unit x 1500 watt
 = 9000 watt

Daya blower inlet + blower exhaust
 = 90 watt + 85 watt
 = 175 watt

Daya lampu sorot = 20 watt

Daya compressor = 372,8 watt

Daya total = 9 kw + 0,175 kw + 0,02 kw
 + 0,3728 kw
 = 9,5678 kw

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Ketidakstabilan antara suhu udara pemanas dan suhu udara di dalam tabung terhadap suhu keluarannya, disebabkan karena ketidakstabilan atomizer dalam mengkabutkan bahan baku magnesium hidroksida. Sehingga sangat penting memilih atomizer yang cocok agar menghasilkan pengkabutan air tua yang stabil dan dapat dikontrol secara fleksibel.
2. Perbedaan suhu antara suhu udara pemanas dengan suhu awal *droplet* berpengaruh terhadap diameter pengkabutan *droplet* yang diijinkan untuk masuk ke dalam tabung pengering. Dimana Htabung *spray dryer* adalah tetap sehingga kalor yang dibutuhkan untuk laju penguapan tergantung dari besar kecilnya suhu udara pemanas yang dihasilkan.
3. Sistem sirkulasi udara panas perlu di tingkatkan dan distabilkan agar kalor untuk proses penguapan pada *droplet* terpenuhi.
4. Besar kecilnya waktu yang dibutuhkan dalam proses penguapan dipengaruhi oleh kandungan H₂O dari *droplet*, sehingga pemilihan atomizer yang tepat sangat diperlukan didalam proses pengeringan magnesium hidroksida.

5. Simulasi Hasil Produksi Magnesium Hidroksida Menggunakan Alat *Spray dryer* dalam waktu 24 (dua puluh empat) jam dapat menghasilkan lebih kurang 235,44 kg setelah di rupiahkan menjadi Rp 9.394.056.

6. Teknologi *spray dryer* sangat cocok digunakan untuk pembuatan magnesium hidroksida. Dimana memiliki keunggulan seperti kecepatan dalam proses penguapan, kapasitas produksi dapat disesuaikan, dan kualitas produk yang dihasilkan sangat baik. Sedangkan kelemahannya adalah biaya pembuatan dan operasional yang tinggi tersebut meskipun masih dapat ditoleransi dengan harga jual magnesium hidroksida yang mahal.

Saran

Perlu dilakukan percobaan *spray dryer* kembali dengan penggantian atomizer yang lebih stabil dan fleksibel dapat dikontrol laju aliran massanya sehingga kualitas produk hasil pengeringan magnesium hidroksida diharapkan lebih baik lagi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Balitbang Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Seluruh penulis adalah kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

Amrulloh, H., Simanjuntak, W., Situmeang, R. T. M., Sagala, S. L., Bramawanto, R., Fatiqin, A., Nahrowi, R., & Zuniati, M. (2020). Preparation of nano-magnesium oxide from Indonesia local seawater bittern using the electrochemical method. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 50(8), 693–698. <https://doi.org/10.1080/24701556.2020.1724146>

- Bramawanto, R., & Abida, R. F. (2017). Tinjauan Aspek Klimatologi (Enso Dan Iod) Dan Dampaknya Terhadap Produksi Garam Indonesia. *Jurnal Kelautan Nasional*, 12(2), 91. <https://doi.org/10.15578/jkn.v12i2.6061>
- Iegel, H. A. S., Aktiengesellschaft, B., & Republic, F. (2012). *Magnesium Compunds*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH.
- Kadarwati, U. R., Ratnawati, H. I., Prabawa, F. Y., Hidayat, W., Hendrajana, B., & Dewi, L. C. (2011). *Kajian Pengolahan Limbah Garam (Bittern) untuk Senyawa Magnesium*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir. Badan Litbang Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Kadarwati, U. R., Ratnawati, H. I., Puspita, C. D., Hidayat, W. (2010). *Studi Potensi Bittern pada Tambak Garam Rakyat*. Laporan Akhir Tahun 2010. In Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir. Badan Litbang Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Kashcheev, I. D., Zemlyanoy, K. G., Doronin, A. V., & Valieva, L. B. (2020). Development of Magnesian Cement Producing Technology on the Ural Region Raw Materials Basis. *KnE Materials Science*, 2020, 96–100. <https://doi.org/10.18502/kms.v6i1.8050>
- Machado, A. P., Arcaro, S., Raupp-Pereira, F., Bergmann, C. P., & Montedo, O. R. K. (2021). Chemically-bonded magnesium phosphate ceramics from magnesium oxide-graphite refractory brick waste. *Materials Research*, 24(5). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0162>
- Mujamdar, A. (2011a). *Industrial Drying Principles and Practice*. Transport Process Research. Singapore.
- Mujamdar, A. S. (2011b). *Handbook of Industrial Drying Fourth Edition (4th ed.)*. CRC Press by Taylor & Francis Group. New York.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (2017). Data Jumlah Pulau Di Indonesia. <https://kkp.go.id/djprl/p4k/page/4270-jumlah-pulau> (Diakses 10 Juli 2022)
- Perry, R. H., & Chilton, C. H. (1984). *Chemical Engineer's Handbook*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo.
- Pilarska, A., Markiewicz, E., Ciesielczyk, F., & Jesionowski, T. (2011). The influence of Spray Drying on the dispersive and physicochemical properties of Magnesium Oxide. *Drying Technology*, 29(10), 1210–1218. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.579698>
- Qoyyima, D., & Jumaeri, J. (2021). Modification of Magnesium Oxide from Bittern Waste with Strontium Oxide for Palm Oil Transesterification Process. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(2), 139-144.
- Romita, D. (2011). Spray Drying Based Technologies for the Double Fortification of Salt with Iron and Iodine by Spray Drying Based Technologies for the Double Fortification of Salt with Iron and Iodine. 24–25. <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/29607>
- Saepuloh, D., Ramdhan, M., Bramawanto, R., & Sukoraharjo, S. S. (2019). Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Pada Aplikasi Sistem Cerdas Pendugaan Produksi Garam. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(2), 125-134. <https://doi.org/10.15578/jkn.v14i2.7910>
- Suprihatin. (2010). Pemanfaatan Air Laut Pada Pembuatan $Mg(OH)_2$ Dengan Penambahan $Ca(OH)_2$ Dari Dolomit. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, 10, 19–23.