REKAYASA
Journal of Science and Technology
https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

REKAYASA ,19(1): 2026 p. 1-13
ISSN: 0216-9495 (Print)
ISSN: 2502-5325 (Online)

Perancangan Reaktor Gelembung pada Produksi Sodium Karbonat

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan
Institut Teknologi Sumatera
e-mail : jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

DOI: https://doi.org/10.21107/rekayasa.v19i1.26869

Submitted July, 30th 2024, Accepted July, 28th2025, Published April, 28th 2026

Bubble reactor design for sodium carbonate production

Abstract

Carbon dioxide (CO_2) is a greenhouse gas that is widely produced in industry and contributes global warming. Utilizing CO_2 to convert into high-value compounds is one way to increase the added value of CO_2 gas. One product that can be produced from CO_2 gas is sodium carbonate (Na_2CO_3) which is produced from the reaction between carbon dioxide (CO_2) and sodium hydroxide (NaOH). Sodium carbonate is a chemical compound that widely used in industry as a supporting chemical. Sodium carbonate can be formed from CO_2 adsorption using NaOH solution. In this study, simulation of sodium carbonate production was studied with variations in reaction temperature and reactant flow rate, followed by bubble reactor-type design for sodium carbonate production. The bubble reactor was chosen because it is a simple reactor without any moving parts. The changing variables used in this study were simulations of temperature and flow rates variations where the reactor volume was determined as a stirred tank flow reactor with six-blade turbine stirrer and wheel-type sparger. The results showed that temperature of 20°C with a flow rate of 20 tons/hour of CO_2 and 20 tons/hour of NaOH produced the highest Na_2CO_3 which is 8 tons/hour with 25.11 liters reactor volume. Higher reactor temperatures will result in a smaller reactor size. Meanwhile, higher CO_2 flow rate as a limiting reactant increase sodium carbonate production. The calculation of bubble reactor design resulted in 26.76 cm internal diameter and 68.03 cm reactor height.

Key words: *bubble reactor, carbon dioxide, sodium carbonate.*

Abstrak

Karbon dioksida (CO_2) merupakan gas rumah kaca yang banyak dihasilkan di industri dan berpengaruh terhadap peningkatan pemanasan global. Pemanfaatan CO_2 untuk dikonversi menjadi senyawa bernilai tinggi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan nilai tambah dari gas CO_2. Salah satu produk yang dapat dihasilkan dari gas CO_2 adalah sodium karbonat (Na_2CO_3) yang diproduksi dari reaksi antara karbon dioksida (CO_2) dan sodium hidroksida (NaOH). Sodium karbonat merupakan senyawa kimia yang banyak digunakan dalam industri sebagai bahan kimia penunjang. Sodium karbonat dapat terbentuk dari proses penyerapan gas CO_2 menggunakan larutan NaOH. Pada penelitian ini diteliti simulasi produksi natrium karbonat dengan variasi suhu reaksi dan laju alir reaktan yang dilanjutkan dengan perancangan reaktor produksi natrium karbonat bertipe reaktor gelembung. Reaktor gelembung dipilih karena merupakan reaktor sederhana tanpa adanya komponen *moving parts*. Pada penelitian ini variabel berubah yang digunakan adalah simulasi variasi suhu dan laju alir dimana persamaan volume reaktor yang digunakan adalah tipe reaktor alir tangki berpengaduk dengan tipe pengaduk *six-blade turbine* dan *sparger* bertipe *wheel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu 20°C dengan laju alir 20 ton/jam CO_2 dan 20 ton/jam NaOH menghasilkan Na_2CO_3 terbanyak sebesar 8 ton/jam dengan volume reaktor sebesar 25,11 liter. Suhu reaktor yang tinggi akan menghasilkan ukuran reaktor yang semakin kecil. Sedangkan besarnya laju alir CO_2 yang digunakan sebagai reaktan pembatas akan menghasilkan Na_2CO_3 yang terbentuk semakin meningkat. Perhitungan perancangan reaktor gelembung menghasilkan ukuran diameter dalam reaktor sebesar 26,76 cm dan tinggi reaktor sebesar 68,03 cm.

Kata kunci: reaktor gelembung, karbon dioksida, natrium karbonat.

2026 © Author

PENDAHULUAN

Karbon dioksida merupakan gas rumah kaca yang dapat memberikan dampak terhadap pemanasan global dan kesehatan manusia (Rahman et al, 2017) (Ni et al, 2023) (Fang et al, 2024). Beberapa cara dapat dilakukan untuk menyerap CO_2 seperti menggunakan mikrooganisme (Zhan dan Qian, 2016). Namun, cara yang efektif serta menghasilkan produk bernilai jual untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida adalah dengan menyerap CO_2 menggunakan larutan penyerap. Salah satu larutan penyerap yang dapat digunakan untuk menyerap CO_2 adalah sodium hidroksida. Sodium hidroksida atau NaOH memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap CO_2, ketersediaan yang berlimpah, lebih murah, dan lebih umum digunakan didalam industri (Saputra et al., 2021) (Contreras-Bustos et al, 2024). Penyerapan CO_2 menggunakan NaOH dapat membentuk natrium karbonat yang dapat dijual (Ghaffari et al., 2023) (Nugroho et al., 2023).

Natrium karbonat atau sodium karbonat (Na_2CO_3) merupakan senyawa yang umum dikenal dengan nama soda ash banyak diaplikasikan dalam industri tekstil, konstruksi, sabun, deterjen, metalurgi, carbon capture, kertas atau pengolahan biomassa dan pengolahan limbah (Wong et al, 2024) (Zhu et al, 2025) (Melin et al, 2025) (Olufemi dan Akajagbor, 2015) (Pujiastuti et al, 2017). Sodium karbonat dapat digunakan untuk proses pembuatan semen (Ke et al., 2016) dan mengekstrasi suatu senyawa seperti *scheelite* (Yang et al., 2018). Pada umumnya, sodium karbonat diproduksi melalui proses ammonia-soda (Solvay). Namun, proses Solvay menghasilkan produk samping yang tidak ramah lingkungan. Salah satu proses yang dapat digunakan adalah *Carbon-negative sODA ash* (CODA) *process* (Ghaffari et al., 2023). Pada proses CODA, pembentukan sodium karbonat dapat dilakukan dengan mereaksikan CO_2 dengan NaOH. Pada banyak penelitian yang telah dilakukan, senyawa sodium karbonat dapat di konversi lebih lanjut menjadi sodium bikarbonat (Bonfim-Rocha et al, 2019).

Reaktor yang dapat digunakan untuk mereaksikan CO_2 dengan NaOH untuk menghasilkan Na_2CO_3 adalah reaktor gelembung atau *bubble reaktor*. *Bubble reactor* termasuk jenis *slurry reactor* pada aplikasi yang melibatkan senyawa gas (Li et al, 2021). Reaktor ini umum digunakan untuk mereaksikan reaktan dengan dua fasa (gas-liquid) (Schumpe, 2006). Reaktor gelembung dapat menggunakan katalis padat dalam meningkatkan konversinya menjadi bubbling fluidized bed reactor (Rüdisüli et al, 2012). Reaktor gelembung memiliki kelebihan antara lain karakteristik transfer massa yang baik serta tidak adanya *moving parts* (Kulkarni and Joshi, 2011a) (Shu et al, 2019). Peningkatan transfer massa pada reactor gelembung melibatkan antara senyawa gas dan liquid yang dapat ditingkatkan dengan berbagai cara salah satunya adalah dengan peningkatan aerasi pada reaktor (Kuhn et al, 2025). Salah satu bagian penting pada reaktor gelembung yang membedakannya dengan reaktor jenis lain adalah *sparger*. *Sparger* berfungsi untuk mendistribusikan reaktan gas dan mengatur aliran serta kecepatan gelembung gas pada reaktor. *Sparger* memiliki beberapa tipe antara lain *spider shape, porous plate, perforated plate, multiple orifice nozzle,* dan *perforated ring* (Wahyudin, 2013).

Publikasi mengenai produksi sodium karbonat (Na_2CO_3) dari CO_2 dengan NaOH tidak terlalu banyak dilakukan karena banyak penelitian yang langsung berfokus pada produksi sodium bikarbonat sebagai produk akhir. Ghaffari et al (2023) meneliti transfer massa CO_2 terhadap NaOH pada produksi Na_2CO_3. Mahmoudkhani dan Keith (2009) meneliti analisis termodinamika reaksi antara CO_2 terhadap NaOH. Nugroho et al (2023) meneliti pengaruh CO_2 *flowrate* terhadap absorpsi CO_2 menggunakan NaOH. Saputra et al (2021) meneliti kinetika reaksi produksi sodium karbonat (Na_2CO_3) dari CO_2 dengan NaOH. Shim et al (2016) meneliti produksi sodium bikarbonat dengan terlebih dulu membentuk sodium karbonat dari CO_2 dengan NaOH menggunakan reaktor kombinasi *bubble reactor* dan *packed bed column*.

Penelitian adsorpsi CO_2 dengan NaOH untuk menghasilkan Na_2CO_3 yang berfokus pada perancangan reaktor gelembung belum pernah dilakukan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mensimulasi produksi sodium karbonat menggunakan reaktor gelembung dengan berbagai data variasi suhu dan variasi laju alir bahan baku. Selain itu, pada penelitian ini ukuran reaktor gelembung akan dihitung dan dirancang untuk memproduksi sodium karbonat yang maksimal. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi keterbaharuan acuan dalam perancangan reaktor gelembung untuk memproduksi sodium karbonat (Na_2CO_3) dengan bahan baku CO_2 dan NaOH pada penggunaan suhu dan laju alir bahan baku yang efektif.

METODE PENELITIAN

2.1 Penentuan Volume Reaktor

Penentuan volume reaktor gelembung dihitung berdasarkan volume reaktor alir tangki berpengaduk sesuai dengan persamaan (Fogler, 2016):

$$V = \frac{F_{AO}.X_A}{-r_A} \quad (1)$$

Dimana persamaan laju reaksi dihitung dengan diintegrasikan dengan persamaan Arrhenius sesuai persamaan

$$r = Ae^{-Ea/RT}Ca \quad (2)$$

Dimana A adalah faktor eksponensial, Ea adalah energi aktivasi, R adalah konstanta dan T adalah suhu. Nilai Ca adalah nilai konsentrasi karbondioksida yang diperoleh dengan persamaan

$$Ca = Cao\ (1 - X) \quad (3)$$

Dimana Cao adalah konsentrasi awal dari karbondioksida dan X adalah konversi reaksi. Nilai Cao diperoleh dari persamaan

$$Cao = \frac{Fao}{vo} \quad (4)$$

2.2 Pengaruh Suhu dan Laju Alir terhadap Volume Reaktor

Pada penelitian ini diteliti simulasi pengaruh suhu dan laju alir terhadap volume reaktor. Adapun laju alir awal yang dipakai pada penelitian ini adalah 10 ton CO_2 dan 20 ton NaOH. Sedangkan suhu yang dipakai pada penelitian ini berada pada rentang suhu 5 – 20^oC sesuai penelitian Ghaffari et al (2023) Tabel variasi suhu laju alir dapat dilihat pada Tabel 1.

2.3 Perhitungan Perancangan Reaktor Gelembung

Proses produksi sodium karbonat dilakukan dengan mereaksikan gas karbon dioksida dengan cairan sodium hidroksida. Tipe reaktor yang digunakan adalah reaktor gelembung untuk reaksi gas cair dengan spesifikasi reaktor alir tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan sparger sebagai tempat masuk gas CO_2. Tahapan perancangan reaktor sebagai berikut.

Tabel 1. Simulasi pengaruh suhu dan laju alir terhadap volume reaktor

No.	Variasi Suhu	Variasi Laju Alir
1.		Tanpa Variasi (10 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
2.		Variasi 1 (5 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
3.	5°C	Variasi 2 (20 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
4.		Variasi 3 (10 ton CO_2 dan 10 ton NaOH)
5.		Variasi 4 (10 ton CO_2 dan 40 ton NaOH)
6.		Tanpa Variasi (10 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
7.		Variasi 1 (5 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
8.	10°C	Variasi 2 (20 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
9.		Variasi 3 (10 ton CO_2 dan 10 ton NaOH)
10.		Variasi 4 (10 ton CO_2 dan 40 ton NaOH)
11.		Tanpa Variasi (10 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
12.		Variasi 1 (5 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
13.	15°C	Variasi 2 (20 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
14.		Variasi 3 (10 ton CO_2 dan 10 ton NaOH)
15.		Variasi 4 (10 ton CO_2 dan 40 ton NaOH)
16.		Tanpa Variasi (10 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
17.		Variasi 1 (5 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
18.	20°C	Variasi 2 (20 ton CO_2 dan 20 ton NaOH)
19.		Variasi 3 (10 ton CO_2 dan 10 ton NaOH)
20.		Variasi 4 (10 ton CO_2 dan 40 ton NaOH)

2.3.1 Perhitungan dimensi reaktor

Batasan yang digunakan dalam perancangan reaktor gelembung antara lain:

1. Volume ruang kosong pada tangki ditambahkan sebesar 20% untuk menghindari luapan cairan keluar reaktor ketika pengadukan.
2. Bentuk reaktor berupa silinder tegak berpenganduk *six-blade turbine* dengan tutup atas dan tutup bawah berbentuk torispherical.
3. Kondisi operasi yang digunakan pada reaktor adalah suhu 20°C dengan tekanan 1 atm dimana material reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah stainless steel.
4. Reaktor diasumsikan beroperasi pada kondisi isothermal dan adiabatik.
5. Perancangan support reaktor tidak termasuk dalam penelitian ini.

2.3.1.1 Penentuan Volume Tangki

Volume tangki ditentukan dengan penambahan ruang kosong sebesar 20% pada perhitungan volume reaktor.

2.3.1.2 Perhitungan Diameter Tangki (D) dan Tinggi Shell (Hs)

Penentuan diameter tangki dan tinggi shell dapat dihitung berdasarkan (Brownell and Young, 1959) sesuai persamaan berikut

$$V_{tangki} = V_{tutup\ atas} + V_{tutup\ bawah} + V_{shell} \quad (5)$$

$V_{tutup\ atas} = 0{,}000049D^3$ (6)

$V_{tutup\ bawah} = 0{,}000049D^3$ (7)

$V_{shell} = (1/4.\pi.D^2.Hs)$ (8)

dimana ditentukan $Hs = 2D$ maka $V_{shell} = ½.\pi.D^3$

Sehingga berdasarkan persamaan , volume tangki dapat dirumuskan

$V_{tangki} = (½.\ \pi.D^3) + 2(0{,}000049D^3)$ (9)

2.3.2 Perhitungan tinggi cairan dalam tangki

Perhitungan tinggi cairan dalan tangki (H_L) dihitung sesuai persamaan berikut

Volume cairan di shell = Volume total cairan - Volume tutup bawah (10)

Volume cairan di shell = $(1/4.\pi.D^2.H_L)$ (11)

2.3.3 Perhitungan tekanan desain tangki

Perhitungan tekanan desain tangki dihitung sesuai persamaan berikut

P abs = P hidrostatik + P operasi (12)

$$P\ abs = \frac{\rho\ (H-1)}{144} + P\ operasi \quad (13)$$

P tangki diambil 10% diatas Pabs, maka (14)

P tangki = 1,1(Pabs)

2.3.4 Perhitungan tebal shell dan outside diameter

Perhitungan tebal shell tangki dihitung sesuai persamaan berikut

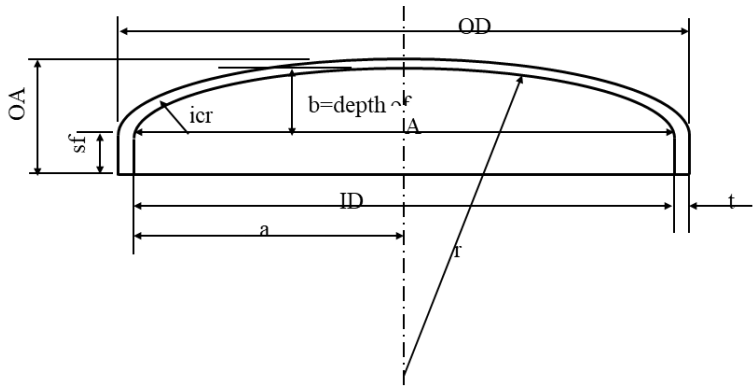
$$t_s = \frac{P.ri}{f.E-0{,}6P} + C \quad (15)$$

Dimana ts adalah ketebalan dinding shell, ri adalah jari-jari shell, P adalah tekanan desain, f adalah nilai tegangan material yang digunakan material Stainless Steel SS – 316 sebesar 18.750 psi (Brownell & Young, 1959), E adalah efisiensi sambungan 0,8000 (Brownell & Young, 1959), C adalah korosi yang diizinkan (*corrosion allowance*) 0,2500 in/10 tahun (Coulson & Richardson, 1999). Setelah memperoleh nilai ts, perhitungan outside diameter (OD) dapat dihitung sesuai rumus

$OD = D + 2ts$ (16)

OD yang diperoleh disesuaikan dengan nilai OD standar.

2.3.5 Perhitungan dimensi tutup reaktor



Gambar 1. Skema Perancangan Tutup

Jenis tutup reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis torispherical dikarenakan rentang tekanan yang digunakan reaktor adalah tekanan rendah atau tekanan atmosferik. Sesuai gambar dimana th adalah tebal *head* (inch), icr adalah *inside corner radius* (inch), r adalah *radius of dish* (inch), sf adalah *straight flange* (inch), OD adalah diameter luar (inch), D adalah diameter dalam (inch), b adalah *Depth of dish* (inch), OA adalah tinggi head (inch). Perhitungan tebal shell tangki dihitung berdasarkan (Brownell & Young, 1959) sesuai persamaan berikut

$$t_h = \frac{0{,}885 P r_C}{f.E - 0{,}1P} + C \quad (17)$$

Dimana tebal bottom sama dengan tebal head (ts). Untuk nilai icr dan r diambil dari nilai OD sesuai Brownell and Young (1959). Sedangkan untuk nilai sf diambil dari nilai t_h. Untuk nilai lainnya dapat dihitung berdasarkan rumus

$$AB = (D/2) - icr \quad (18)$$

$$BC = r - icr \quad (19)$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} \quad (20)$$

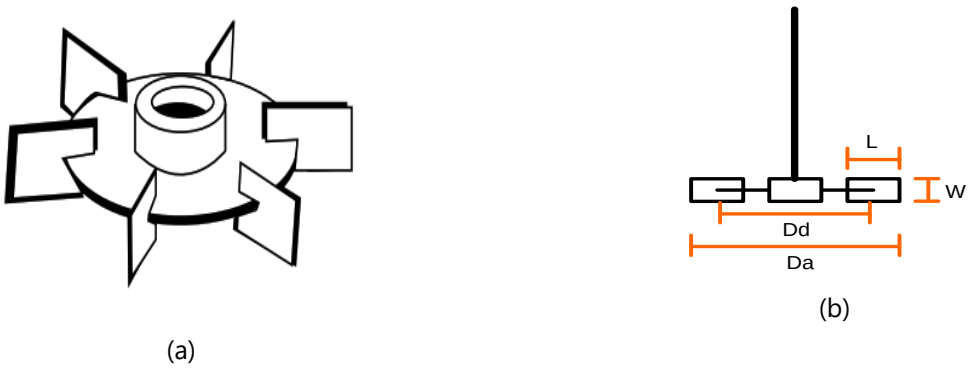
$$OA = t_h + b + sf \quad (21)$$

Setelah diketahui tebal head maka persamaan tinggi tangki dapat dihitung sesuai persamaan

$$\text{Tinggi tangki (H)} = H_S + 2t_h \quad (22)$$

2.3.6 Perancangan Pengaduk

Pada penelitian ini digunakan tipe pengaduk *six-blade turbine agitator* dengan pertimbangan banyak digunakan dalam industri dan cocok untuk *gas-liquid* dan *liquid-liquid disperse* (Couper et al., 2012). Pengaduk *six-blade turbine* dapat dilihat pada Gambar 2.



(a) (b)

Gambar 2. Pengaduk *Six-Blade Turbin Agitator*
(a) Gambar Pengaduk (Couper et al, 2012) *(b) Skema Ukuran Pengaduk*

Perhitunagn dimensi pengaduk sesuai (Geankoplis, 1993) pada Gambar 2b dengan persamaan

$$\frac{D_a}{D} = 0{,}3 \tag{23}$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \tag{24}$$

$$\frac{D_d}{D_a} = \frac{2}{3} \tag{25}$$

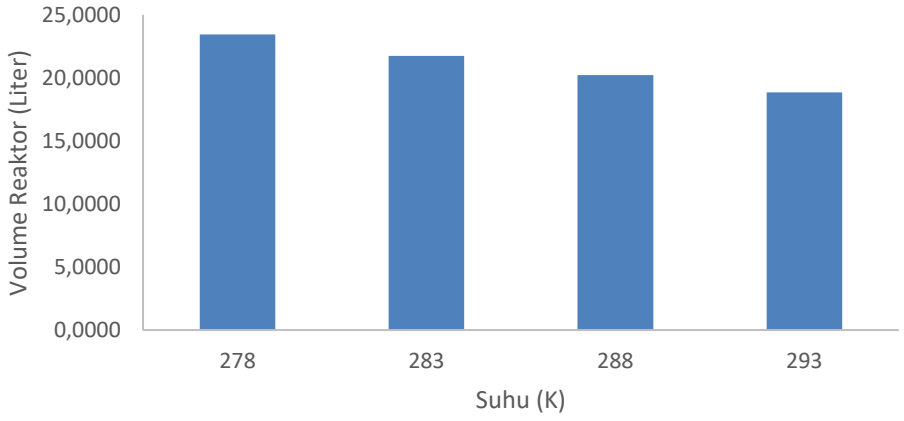
$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \tag{26}$$

2.3.7 Penentuan *Sparger*

Sparger merupakan komponen penting dalam reaktor gelembung. *Sparger* berfungsi untuk mendistribusikan reaktan fasa gas ke dalam reaktor. *Sparger* memiliki beberapa tipe antara lain *sieve plate, radial, spider, multiple ring* dan *wheel* (Kulkarni and Joshi, 2011a)

HASIL DAN PEMBAHASAN

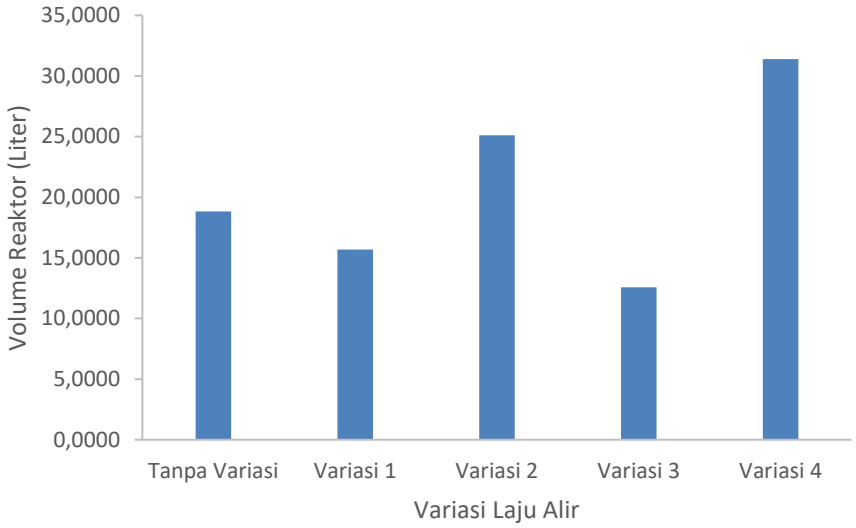
3.1 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Produksi Sodium Karbonat



Gambar 3. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Volume Reaktor

Pengaruh suhu reaksi pada kasus tanpa variasi (laju alir CO_2 10 ton/jam dan laju alir NaOH 20 ton/jam) terhadap volume reaktor ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu reaktor maka akan semakin kecil volume reaktor yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan rumus laju reaksi sesuai persamaan (2) dan persamaan volume reaktor sesuai persamaan (1). Peningkatan suhu akan meningkatkan laju reaksi. Laju reaksi yang meningkat akan memperkecil volume reaktor (Fogler, 2016). Pada skala industri, ukuran reaktor yang kecil lebih diinginkan karena memperkecil biaya fabrikasi reaktor. Pada penelitian ini juga dihitung pengaruh suhu pada berbagai variasi laju alir (variasi 1, 2, 3, dan 4) dan dari hasil penelitian yang dihasilkan menunjukkan hasil yang sama bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka akan semakin kecil volume reaktor yang diperoleh. Oleh sebab itu, pada penelitian ini suhu 20^oC dipilih dalam perancangan reaktor.

3.2 Pengaruh Variasi Laju Alir Terhadap Volume Reaktor



Gambar 4. Pengaruh Laju Alir Terhadap Volume Reaktor

Tabel 2. Pengaruh Variasi Laju Alir Terhadap Produk yang Dihasilkan

Parameter	Variasi Laju Alir				
	Tanpa Variasi	**Variasi 1**	**Variasi 2**	**Variasi 3**	**Variasi 4**
Input CO_2 (ton/jam)	10	5	20	10	10
Sisa reaksi CO_2 (ton/jam)	6	3	12	6	6
Input NaOH (ton/jam)	20	20	20	10	40
Sisa reaksi NaOH (ton/jam)	12	16	4	2	36
Na_2CO_3 yang dihasilkan (ton/jam)	4	4	8	4	4

Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa Variasi 4 dan 2 merupakan variasi laju alir yang menghasilkan volume reaktor yang lebih besar dibandingkan dengan variasi yang lain. Hal ini dapat disebabkan karena NaOH yang merupakan reaktan bersenyawa cair cukup mempengaruhi volume reaktor. Persamaan tinggi cairan dalam tangki dihitung sesuai persamaan (10) dan (11) yang mempengaruhi volume reaktor. Volume reaktor paling kecil sesuai Gambar 4 adalah variasi 3 dengan laju alir NaOH paling kecil yaitu sebesar 10 ton/jam.

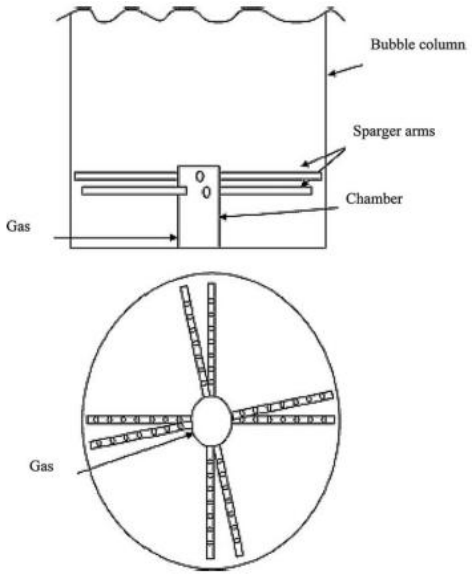
Pengaruh variasi laju alir terhadap Na_2CO_3 yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2 Perhitungan Na_2CO_3 yang dihasilkan dihitung berdasarkan stoikiometri reaksi dengan nilai konversi CO_2 sebesar 40% (Nugroho et al., 2023). Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa Variasi 2 menghasilkan Na_2CO_3 terbanyak yaitu sebesar 8 ton/jam. Hal ini dapat disebabkan karena laju alir CO_2 yang digunakan pada variasi 2 adalah laju alir terbesar yaitu 20 ton/jam. CO_2 pada produksi Na_2CO_3 berperan sebagai reaktan pembatas. Peningkatan pada laju alir CO_2 akan meningkatkan produksi Na_2CO_3 yang dihasilkan.

Kelebihan reaktan CO_2 dan NaOH pada variasi 2 sesuai Tabel 2 dapat diatasi dengan beberapa cara. CO_2 berlebih dalam wujud gas dapat di*recycle* kembali ke dalam reaktor. Sedangkan NaOH berlebih dapat dipisah dengan menggunakan separator untuk dapat diregenerasi dengan *precipitation* dan *direct causticization* (Mahmoudkhani and Keith, 2009).

3.3 Perancangan Reaktor Gelembung

Berdasarkan Gambar 4 dan Tabel 2 diketahui bahwa Variasi 2 adalah variasi terbaik yang dapat digunakan untuk memproduksi Na_2CO_3 sebesar 8 ton/jam. Pada variasi 2 digunakan laju alir 20 ton/jam CO_2 dan 20 ton/jam NaOH. Volume reaktor pada variasi 2 adalah 25,11 liter sesuai Gambar 4. Oleh sebab itu, pada penelitian ini variasi 2 digunakan untuk perancangan reaktor gelembung. Hasil perancangan reaktor gelembung dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6.

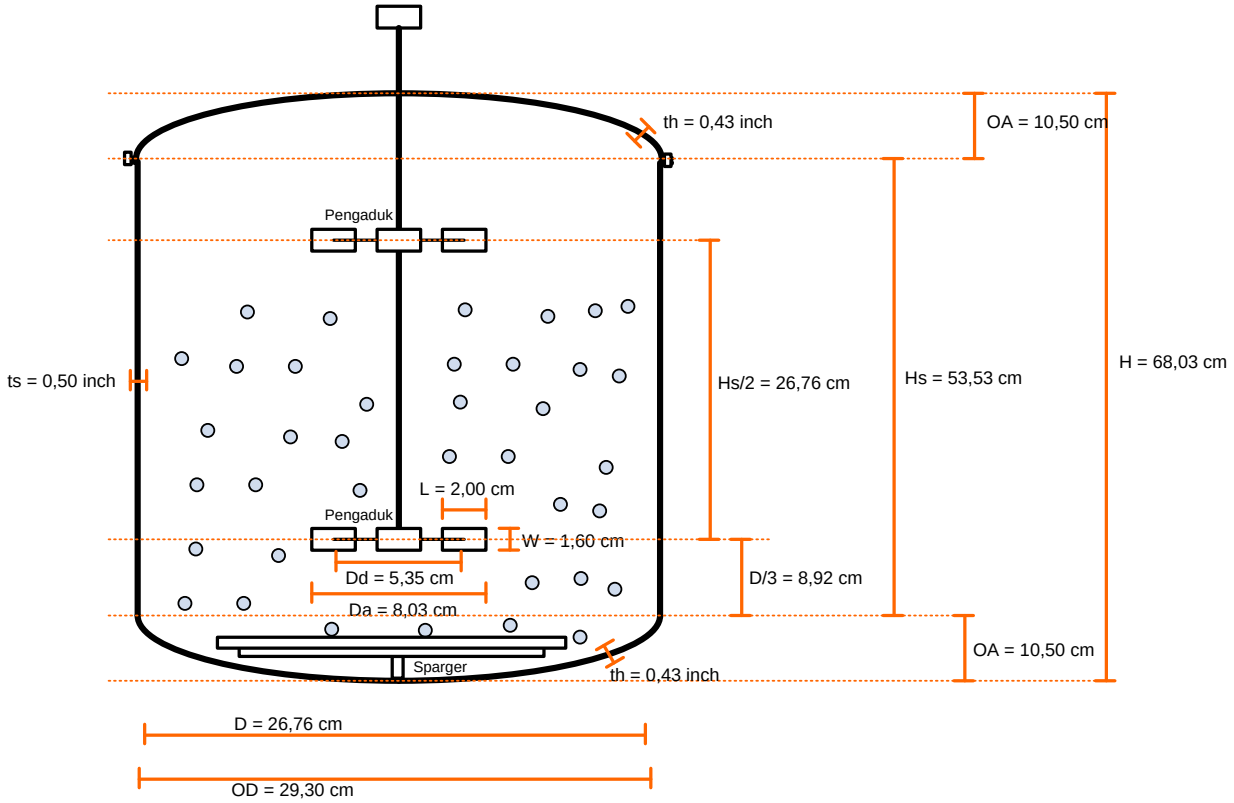
Pada reaktor ini digunakan sparger tipe *wheel*. Berdasarkan (Kulkarni and Joshi, 2011b) diketahui bahwa tipe *wheel sparger* merupakan sparger yang paling baik untuk digunakan pada berbagai kondisi reaksi. *Wheel sparger* dapat dilihat pada Gambar 5. Selain itu, Shim et al (2016) menyatakan bahwa bubble reaktor adalah reaktor yang efisien dalam mereaksikan CO_2 dan NaOH. Penggunaan sparger tipe *wheel sparger* dapat mengefektifkan proses transfer massa antara gas CO_2 dan liquid NaOH yang berdampak pada peningkatan produksi sodium karbonat. Daya tarik yang sederhana dari reaktor gelembung seperti penggunaan sparger dalam mengefisienkan reaksi berdampak pada aplikasi reaktor gelembung yang lebih murah jika diaplikasikan di industri dibandingkan dengan tipe reaktor lainnya.



Gambar 5. *Wheel Sparger* (Kulkarni and Joshi, 2011a)

Tabel 3. Parameter Perancangan Reaktor

No	Parameter Perancangan	Simbol	Ukuran
1.	Tebal head/tebal bottom	th	0,43 inch
2.	Tebal shell	ts	0,50 inch
3.	Inside diameter fermentor	D	26,76 cm
4.	Outside diameter fermentor	OD	29,30 cm
5.	Jarak shell dengan batas penutup reaktor	OA	10,50 cm
6.	Tinggi shell	Hs	53,53 cm
7.	Tinggi reaktor	H	68,03 cm
8.	Jarak antar pengaduk	Hs/2	26,76 cm
9.	Posisi pengaduk dari batas bawah shell	D/3	8,92 cm
10.	Panjang seluruh pengaduk	Da	8,03 cm
11.	Panjang batang pengaduk horizontal	Dd	5,35 cm
12.	Panjang daun pengaduk	L	2,00 cm
13.	Lebar daun pengaduk	W	1,60 cm



Gambar 6. Skema Ukuran Reaktor Gelembung

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan ukuran reaktor gelembung dapat diperoleh sesuai Tabel 3 dan Gambar 6. Reaktor gelembung yang dirancang memiliki diameter dalam sebesar 26,76 cm dan tinggi reaktor sebesar 68,03 cm dengan spesifikasi pengaduk *six-blade turbine* dan *sparger* bertipe *wheel*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini diteliti perancangan reaktor gelembung pada produksi sodium karbonat. Simulasi variasi suhu dan laju alir digunakan untuk mencari volume reaktor dalam memproduksi sodium karbonat terbanyak. Perhitungan volume reaktor menggunakan tipe reaktor alir tangki berpengaduk dengan pengaduk *six-blade turbine* dan *sparger* bertipe *wheel*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa suhu 20^{o}C dengan laju alir 20 ton/jam CO_2 dan 20 ton/jam NaOH menghasilkan Na_2CO_3 terbanyak sebesar 8 ton/jam dengan volume reaktor sebesar 25,11 liter. Semakin tinggi suhu reaktor akan menghasilkan ukuran reaktor yang semakin kecil. Sedangkan semakin besar laju alir CO_2 yang digunakan akan membuat semakin besar Na_2CO_3 yang terbentuk. Reaktor gelembung yang dirancang memiliki ukuran diameter dalam reaktor sebesar 26,76 cm dan tinggi reaktor sebesar 68,03 cm.

DAFTAR PUSTAKA

Bonfim-Rocha, L., Silva, A. B., De Faria, S. H. B., Vieira, M. F., & De Souza, M. (2020). Production of Sodium Bicarbonate from CO2 Reuse Processes: A Brief Review. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, *18*(1), 1–16. https://doi.org/10.1515/ijcre-2018-0318

Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. John Wiley and Sons.

Contreras-Bustos, R., Vargas-Gómez, E., Cercado, B., Becerril, J. J., & Solache-Ríos, M. (2024). Removal of fluoride from sodium hydroxide solutions. *Desalination and Water Treatment*, *318*(January), 100336. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100336

Coulson, & Richardson. (1999). *Chemical Engineering* (Volume 6,). Butterworth-Heinemann Publication.

Couper, J. R., Penney, W. R., Fair, J. R., & Walas, S. M. (2012). *Chemical Process Equipment: Selection and Design Third Edition*. Butterworth-Heinemann Publication.

Fang, C., Zhang, H., Xiao, Y., Zhao, T., Zou, R., Luo, G., Li, X., & Yao, H. (2024). Carbon dioxide capture in sodium carbonate solution: Mass transfer kinetics and DTAC surfactant enhancement mechanism. *Carbon Capture Science and Technology*, *13*(June), 100270. https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100270

Fogler, H. S. (2016). *Elements of Chemical Reaction Engineering Fifth Edition*. Pearson Education.

Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Separation Process Principles* (4th Editio). Pearson Education.

Ghaffari, S., Gutierrez, M. F., Seidel-Morgenstern, A., Lorenz, H., & Schulze, P. (2023). Sodium Hydroxide-Based CO2 Direct Air Capture for Soda Ash Production—Fundamentals for Process Engineering. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *62*(19), 7566–7579. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c00357

Ke, X., Bernal, S. A., & Provis, J. L. (2016). Controlling the reaction kinetics of sodium carbonate-activated slag cements using calcined layered double hydroxides. *Cement and Concrete Research*, *81*, 24–37. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.11.012

Kuhn, W. L., Hihn, J. Y., Solemslie, B. W., & Dahlhaug, O. G. (2025). Comparing and combining methods that enhance liquid–gas mass transfer in a batch reactor: Ultrasonic degassing, aeration by gas bubbling, and liquid agitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, *119*(May). https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107389

Kulkarni, A. V., & Joshi, J. B. (2011a). Design and selection of sparger for bubble column reactor. Part I: Performance of different spargers. *Chemical Engineering Research and Design*, *89*(10), 1972–1985. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.01.004

Kulkarni, A. V., & Joshi, J. B. (2011b). Design and selection of sparger for bubble column reactor. Part II: Optimum sparger type and design. *Chemical Engineering Research and Design*, *89*(10), 1986–1995. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.01.014

Li, L., Zhao, Y., Lian, W., Han, C., Zhang, Q., & Huang, W. (2021). Review on the effect of heat exchanger tubes on flow behavior and heat/mass transfer of the bubble/slurry reactors. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *35*, 44–61. https://doi.org/10.1016/j.cjche.2021.03.017

Mahmoudkhani, M., & Keith, D. W. (2009). Low-energy sodium hydroxide recovery for CO2 capture from atmospheric air-Thermodynamic analysis. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *3*(4), 376–384. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2009.02.003

Melin, K., Hurskainen, M., Nevander, M., & Kajolinna, T. (2025). Techno-economic performance of enhanced sodium carbonate-based CO2 capture process. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *141*(October 2024), 104310. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2025.104310

Ni, J. Q., Erasmus, M., Jones, D. R., & Campbell, D. L. M. (2023). Effectiveness and characteristics of a new technology to reduce ammonia, carbon dioxide, and particulate matter pollution in poultry production with artificial turf floor. *Environmental Technology and Innovation*, *29*, 102976. https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102976

Nugroho, A., Bekti Susanto, Y., Lidzati Kamilah, V., & Prameswari, R. (2023). Carbon Dioxide (CO2) Absorption Process Using Sodium Hydroxide (NaOH). *IPTEK The Journal of Engineering*, *9*(1), 30. https://doi.org/10.12962/j23378557.v9i1.a15192

Olufemi, B. A., & Akajagbor, E. (2015). Parametric Effect of Sodium Hydroxide and Sodium Carbonate on the Potency of a Degreaser. *Journal of Science and Technology*, *21*, 21–30.

Pujiastuti, C., Ngatilah, Y., Sumada, K., & Muljani, S. (2018). The effectiveness of sodium hydroxide (NaOH) and sodium carbonate (Na2CO3) on the impurities removal of saturated salt solution. *Journal of Physics: Conference Series*, *953*(1), 84–89. https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012215

Rahman, F. A., Aziz, M. M. A., Saidur, R., Bakar, W. A. W. A., Hainin, M. R., Putrajaya, R., & Hassan, N. A. (2017). Pollution to solution: Capture and sequestration of carbon dioxide (CO2) and its utilization as a renewable energy source for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *71*(January), 112–126. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.011

Rüdisüli, M., Schildhauer, T. J., Biollaz, S. M. A., & Van Ommen, J. R. (2012). Scale-up of bubbling fluidized bed reactors - A review. *Powder Technology*, *217*, 21–38. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.10.004

Saputra, A. S., Adhil, M., Prof, S., & Desmiarti, E. R. (2021). Studi Awal Pemanfaatan CO2 Untuk Pembentukan

Natrium Karbonat: Kajian Kinetika Reaksi. *Jurnal Universitas Bung Hatta*, *18*(4), 3.

Schumpe, A. (2006). Bubble columns. *Chemical Engineering and Technology*, *29*(9), 1009. https://doi.org/10.1002/ceat.200690023

Shim, J., Lee, D. W., Lee, J. H., & Kwak, N. (2016). Experimental study on capture of carbon d ioxide and production of sodium bicarbonate from sodium hydroxide. *Environmental Engineering Research*.

Shu, S., Vidal, D., Bertrand, F., & Chaouki, J. (2019). Multiscale multiphase phenomena in bubble column reactors: A review. *Renewable Energy*, *141*, 613–631. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.020

Wahyudin"", J. A. H. T. (2013). Prosiding Internasional 2. Semibatch Bubble Column Reactor Design for Biodiesel Production. In *Proceeding ICCE 2013 UNPAR*.

Wong, K. S., Ting, M. Z. Y., & Chua, K. S. (2024). Strength and workability of one-part sodium carbonate activated mortar incorporated with silicomanganese slag. *Journal of Building Engineering*, *96*(July), 110367. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110367

Yang, J. hong, He, L. hua, Liu, X. heng, Ding, W. tao, Song, Y. feng, & Zhao, Z. wei. (2018). Comparative kinetic analysis of conventional and ultrasound-assisted leaching of scheelite by sodium carbonate. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, *28*(4), 775–782. https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64710-7

Zhan, Q., & Qian, C. (2016). Microbial-induced remediation of Zn2+ pollution based on the capture and utilization of carbon dioxide. *Electronic Journal of Biotechnology*, *19*(1), 29–32. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2015.11.003

Zhu, R., Yang, M., Yin, J., Wu, Z., Li, M., Zhao, L., Wang, X., & Ren, J. (2025). Mild sodium carbonate pretreatment of wheat straw for improving cellulose and xylan enzymatic hydrolysis. *Industrial Crops and Products*, *227*(February), 120728. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120728