

PEMBUATAN NAOH DARI LARUTAN BITTERN DENGAN PROSES ELEKTROLISIS SEL MEMBRAN

¹Danila Rorenzya Ardana, ¹Aurel Oktaviola Anggraeni, ¹Sri Redjeki*

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Gunung Anyar 60249

*Penulis korespondensi: sri4tk@yahoo.com

Abstrak. Bittern merupakan limbah sisa penguapan air laut pada industri garam. Limbah bittern mengandung berbagai ion, sebagian merupakan unsur hara makro dan mikro seperti ion Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Cl^- . Ion Na^+ yang terkandung dalam bittern dapat dimanfaatkan untuk memproduksi Natrium Hidroksida (NaOH). Untuk mengontrol dampak negatif limbah bittern terhadap lingkungan dan meningkatkan nilai ekonomis dari limbah cair sisa proses pembuatan garam, bittern diolah menjadi NaOH melalui proses elektrolisis sel membran. Proses elektrolisis dilakukan dengan menggunakan membran kation. Metode ini dilakukan dengan mengatur variasi dua kondisi operasi yaitu tegangan (voltase) 6 volt; 8 volt; 10 volt; 12 volt; dan 14 volt dan waktu elektrolisis yaitu 1 jam; 1,5 jam; 2 jam; 2,5 jam; dan 3 jam. Kandungan ion Na^+ dalam bittern sebesar 25933,5 mg/L. Hasil terbaik dari penelitian ini terbentuk endapan NaOH dengan kadar 15,53% pada kondisi tegangan 12 volt dan waktu elektrolisis 1 jam.

Kata kunci: Bittern, Elektrolisis sel membran, NaOH

Abstract. Bittern is waste from seawater evaporation in the salt industry. Bittern waste contains various ions, some of which are macro and micro nutrients such as Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Cl^- ions. The Na^+ ions contained in bittern can be used to produce Sodium Hydroxide (NaOH). To reduce the negative impact of bittern waste on the environment and increase the economic value of liquid waste from the salt making process, bittern is processed into NaOH through a membrane cell electrolysis process. The electrolysis process is carried out using a cation membrane. This method is carried out using two operating conditions that are varied, namely voltage (voltage) 6 volts; 8 volts; 10 volts; 12 volts; and 14 volts and electrolysis time is 1 hour; 1.5 hours; 2 hours; 2.5 hours; and 3 hours. The Na^+ ion content in bittern is 25933.5 mg/L. The best result of this study was the formation of NaOH deposits with a content of 15.53% at a voltage of 12 volts and an electrolysis time of 1 hour.

Keywords: Bittern, Membrane Cell Electrolysis, NaOH

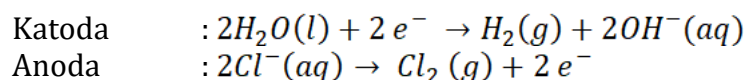
1. Pendahuluan

Salah satu bahan kimia yang paling penting bagi industri dan diproduksi dalam jumlah besar adalah soda kaustik (NaOH). Permintaan akan NaOH di Indonesia semakin meningkat karena penggunaannya di berbagai industri. Pada tahun 2024, kebutuhan impor NaOH mencapai 54,877,073 ton (Badan Pusat Statistik, 2024). NaOH merupakan bahan dasar dari beragam produk yang digunakan sehari-hari. NaOH juga digunakan untuk membuat kain, cat, keramik, sabun deterjen, dan kaca (Li, dkk, 2021). Saat ini penggunaan NaOH masih ditunjang dengan impor dari luar negeri. Untuk dapat mengurangi angka impor NaOH, Indonesia membutuhkan sumber daya alam yang dapat berpotensi diolah menjadi NaOH. NaOH dapat dibentuk dari sintesis larutan natrium klorida (NaCl).

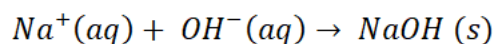
NaOH adalah sejenis basa logam kaustik, disebut juga sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida. NaOH terbentuk dari oksida basa yang dilarutkan ke dalam air. Ketika NaOH dilarutkan ke dalam air, akan menghasilkan larutan yang bersifat basa kuat. Bentuk NaOH yang paling sering digunakan yaitu berupa suatu padatan berwarna putih seperti butiran atau serpihan yang termasuk dalam bentuk NaOH murni. NaOH melepaskan panas dan sangat larut saat dilarutkan dengan air. Hal tersebut dapat terjadi karena reaksi antara NaOH dengan air bersifat eksotermik atau melepas energi panas. NaOH tidak dapat larut dalam pelarut non-polar. Pelarut non-polar merupakan pelarut yang memiliki sifat ketidakpolaran atau memiliki momen dipol yang sangat kecil. Pelarut non-polar biasanya terdiri dari molekul-molekul dengan ikatan kovalen yang simetris. NaOH merupakan basa paling umum digunakan di laboratorium kimia (Witjaksana, dkk, 2016).

Proses produksi garam dibedakan menjadi dua macam, yaitu secara industri dan secara tradisional. Air laut yang disimpan di ladang garam merupakan bahan baku yang akan digunakan dalam proses konvensional pembuatan garam. Panas matahari akan membantu proses penguapan air laut dengan kadar garam yang tinggi. Air laut tersebut diuapkan hingga diperoleh produk berupa kristal-kristal garam. Pada proses pengkristalan, terdapat larutan garam jenuh yang tidak ikut mengkristal atau biasa disebut dengan larutan bittern. Kandungan garam mineral di dalam bittern terdiri dari magnesium klorida (MgCl), kalium bromide (KBr), magnesium sulfat (MgSO₄), dan natrium klorida (NaCl) (Dewi, dkk, 2022).

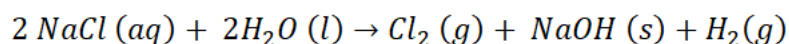
Larutan NaCl yang mengandung ion Na⁺ dan Cl⁻ dialirkan ke dalam ruang anoda, sementara ruang katoda diisi dengan air murni. Arus searah (DC) mengalir melalui sel elektroda. Ruang anoda dan katoda disekat oleh membran kation. Membran ini mencegah pergerakan ion Cl⁻ (yang bermuatan negatif) dan meloloskan ion Na⁺ (yang bermuatan positif) bergerak bebas melalui sel. Reaksi yang berlangsung pada katoda dan anoda adalah



Membran pertukaran kation memisahkan larutan anoda dan katoda, namun membran tersebut permeabel terhadap ion Na⁺. Selanjutnya, ion Natrium (Na⁺) dari anoda bertemu ion hidroksida (OH⁻) di ruang katoda akan membentuk NaOH. Reaksinya sebagai berikut :



Secara keseluruhan, reaksi elektrolisis larutan NaCl (Huamani, dkk, 2021) menjadi NaOH adalah sebagai berikut :



Membran penukar ion merupakan membran yang digolongkan ke dalam membran dengan beda potensial listrik sebagai *driving force*. Perpindahan ion yang terjadi pada membran penukar ion disebabkan adanya permselektivitas dari membran penukar ion, beda potensial listrik, dan kimia. Membran penukar ion dibedakan menjadi 3 yaitu membran penukar kation, membran penukar anion, dan membran bipolar. Pada proses sintesis elektrokimia, seperti yang terjadi dalam pembuatan soda kaustik, produksi klorin secara elektrolitik, produksi hidrogen dan oksigen, membran penukar ion memiliki peranan penting. Proses dengan menggunakan membran ini banyak digunakan karena tidak menghasilkan produk samping yang berbahaya dan hemat energi. Pada proses klor-alkali, membran penukar kation sering digunakan untuk meloloskan ion Na^+ sebanyak mungkin. Ketika proses elektrolisis diberikan perbedaan potensial listrik diantara kedua elektroda, kation akan bermigrasi menuju anoda. Kation-kation tersebut akan terseleksi oleh membran penukar kation (Husada, 2016).

Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi pada proses pembuatan NaOH dari elektrolisis larutan *bittern* seperti tegangan listrik, arus listrik, dan waktu elektrolisis. Menurut Saefudin, dkk (2021), semakin besar tegangan listrik yang digunakan maka produk yang dihasilkan selama proses elektrolisis semakin banyak. Hal tersebut dapat terjadi karena tegangan listrik yang besar mampu meningkatkan jumlah arus listrik. Arus listrik yang digunakan selama proses elektrolisis juga berpengaruh terhadap laju reaksi dan jumlah produk yang dihasilkan. Semakin besar arus listrik yang digunakan, maka semakin cepat pula reaksi elektrolisis berlangsung, namun hal tersebut akan mempengaruhi kualitas produk serta konsumsi energi. Lama waktu proses elektrolisis juga dapat mempengaruhi jumlah produk yang dihasilkan. Semakin lama proses elektrolisis, maka semakin banyak produk yang dihasilkan, hal tersebut juga akan berpengaruh terhadap efisiensi dan konsumsi energi. Waktu optimal dalam proses elektrolisis berkisar antara 1-5 jam (Siregar, dkk, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu dan tegangan listrik terbaik yang digunakan pada proses pembuatan NaOH dengan metode elektrolisis sel membran agar memperoleh hasil yang maksimal serta untuk memanfaatkan limbah *bittern* agar menjadi produk dengan nilai jual yang tinggi.

2. Metode

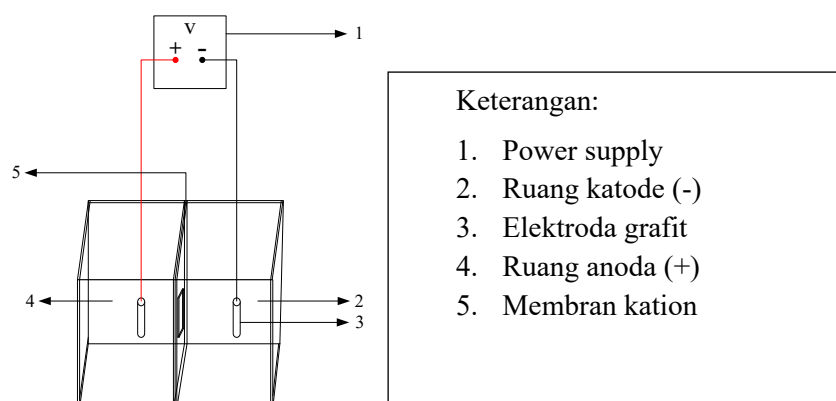
2.1. Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah larutan *bittern* yang diperoleh dari tambak garam PT Garam Dua Musim, Lamongan. Bahan pendukung lainnya yaitu membran kation yang dibeli di Hangzhou Iontech Environmental Technology Co. Ltd, China dan aquadest yang diperoleh dari Nirwana Sains UD, Surabaya.

2.2. Alat

Alat-alat yang diperlukan dalam proses penelitian antara lain elektroda grafit, membran kation, wadah elektrolisis, kabel penghubung, gelas ukur 500 ml, batang

pengaduk, erlenmeyer, gelas beaker 250 ml dan 500 ml, corong kaca, pipet tetes, kaca arloji, neraca analitik, statif dan klem, power supply, oven, loyang, dan kertas saring. Rangkaian alat yang digunakan untuk proses elektrolisis sel membran digambarkan pada **Gambar 1**.



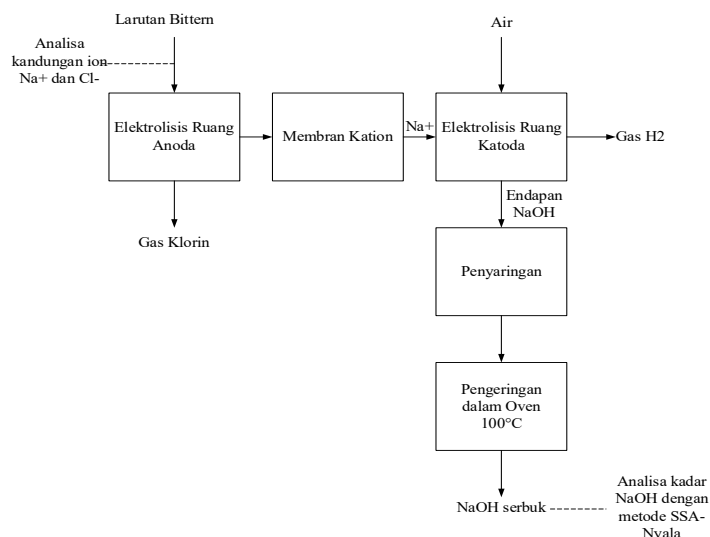
Gambar 1. Rangkaian alat elektrolisis sel membran

2.3. Preparasi Bahan Baku

Bahan berupa limbah larutan bittern dianalisis menggunakan metode AAS dan titrimetri di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi BSPJI Jagir, Surabaya. Selanjutnya dilakukan proses pretreatment, larutan bittern yang masih mengandung ion Mg^{2+} , SO_4^{2-} , dan Ca^{2+} dimurnikan terlebih dahulu dengan cara pengendapan. Untuk mengendapkan ion Mg^{2+} digunakan reagen berupa $Ca(OH)_2$ dimana nantinya ion Mg^{2+} akan berikatan dengan ion OH^- dan membentuk endapan $Mg(OH)_2$. Untuk mengendapkan ion SO_4^{2-} digunakan reagen berupa $BaCl_2$ dimana nantinya ion SO_4^{2-} akan berikatan dengan ion Ba^{2+} dan membentuk endapan $BaSO_4$. Sedangkan untuk mengendapkan ion Ca^{2+} digunakan reagen Na_2CO_3 dimana nantinya ion Ca^{2+} akan berikatan dengan ion CO_3^{2-} dan membentuk endapan $CaCO_3$.

2.4. Proses Elektrolisis

Larutan bittern yang sudah dimurnikan dari impuritasnya dimasukkan ke dalam ruang anoda (+) sebanyak 500 ml sedangkan ruang katoda (-) diisi dengan aquadest sebanyak 500 ml. Proses elektrolisis dilakukan pada kondisi variasi parameter antara lain : waktu elektrolisis (1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 jam) dan tegangan listrik (6V, 8V, 10V, 12V, dan 14V) pada suhu ruang dengan percobaan yang dilakukan satu kali pada setiap perlakuan. Sel elektrolisis disusun dengan elektroda grafit serta membran kation yang memisahkan ruang anoda dan katoda agar produk yang terbentuk tidak bercampur. Ketika arus listrik searah diberikan, ion Cl^- dari larutan bittern mengalami oksidasi di anoda dan membentuk gas Cl_2 . Sementara itu, di katoda, air mengalami reduksi membentuk gas H_2 dan ion OH^- . Ion Na^+ yang berasal dari bittern bergerak menuju katoda dan bereaksi dengan OH^- sehingga menghasilkan endapan NaOH.



Gambar 2. Tahap Elektrolisis

2.5. Proses Pengeringan

Setelah proses elektrolisis berlangsung, endapan yang terbentuk di ruang katoda disaring untuk dikeringkan pada oven dengan suhu 100°C. Pengeringan pada endapan bertujuan untuk mengurangi kandungan air dalam endapan.

2.6. Analisa Massa Produk NaOH

Perhitungan massa produk NaOH pada percobaan ini dinyatakan dalam Hukum Faraday I dengan persamaan:

$$G = Me_{NaOH} \times \left(\frac{I \cdot t}{96000} \right)$$

Keterangan:

G	= massa produk (gram)
Me	= massa ekuivalen
I	= kuat arus (A)
t	= waktu elektrodialisis (s)

2.7. Analisa Kadar (%) NaOH

Analisa kadar NaOH pada sampel dilakukan dengan menggunakan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Dengan mengatomisasi suatu zat kimia terlebih dahulu, metode analisis yang dikenal sebagai Spektroskopi Serapan Atom (AAS) dapat mengidentifikasi jumlah kadar NaOH yang terdapat pada sampel. Nyala api dapat digunakan untuk atomisasi. Dasar dari teknik AAS adalah gagasan bahwa atom menyerap cahaya, yang menaikkan tingkat energi keadaan dasar atom ke tingkat energi eksitasi (Solikha, 2019).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis komponen awal limbah bittern

Larutan bittern dianalisis di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi BSPJI Jagir untuk mengetahui kandungan ion Na⁺, Cl⁻, Ca, Mg, K, serta SO₄. Hasil pengujian bahan baku disajikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Analisis Kadar Ion Na⁺, Cl⁻, Ca, Mg, K, dan SO₄ pada Larutan Bittern

Jenis Ion	Hasil Uji (mg/L)	Metode Uji
Sodium (Na ⁺)	25.933,5	AAS
Clorida (Cl ⁻)	196.520,3	Titrimetri
Kalsium (Ca)	2.357,8	AAS
Magnesium (Mg)	36.540,5	AAS
Kalium (K)	20.701,8	AAS
Sulfat (SO ₄)	6.812,5	SNI 06-6989.20:2019

Tabel 2. Perhitungan massa produk NaOH menurut Hukum Faraday I

Waktu (Detik)	Kuat Arus (A)	Massa Produk (gr)
3600	0.6	0.8953
	0.86	1.2833
	0.92	1.3728
	1	1.4922
	1.1	1.6415
5400	0.6	1.3430
	0.86	1.9250
	0.92	2.0593
	1	2.2383
	1.1	1.3430
7200	0.6	1.7907
	0.86	2.5666
	0.92	2.7457
	1	2.9845
	1.1	3.2829
9000	0.6	2.2383
	0.86	3.2083
	0.92	3.4321
	1	3.7306
	1.1	4.1036
10800	0.6	2.6860
	0.86	3.8499
	0.92	4.1185
	1	4.4767
	1.1	4.9244

Berdasarkan hasil analisis bahan baku dengan metode AAS, titrimetri, dan SNI 06-6989.20:2019, menunjukkan komposisi ion tertinggi dalam larutan *bittern* diantaranya adalah ion Cl^- , Mg , Na^+ , dan K . Komponen natrium (Na^+) yang terkandung dalam larutan *bittern* sebesar 25.933,5 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa larutan *bittern* memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan NaOH.

3.2. Hasil Massa Produk NaOH

Setelah dilakukan proses elektrolisis, didapatkan hasil perhitungan massa produk NaOH hasil elektrolisis sel membran. Massa produk NaOH merupakan banyaknya produk NaOH yang dihasilkan dalam percobaan dan dinyatakan dalam gram berdasarkan kuat arus yang dijalankan selama waktu tertentu. Massa produk NaOH dihitung menurut Hukum Faraday I. Hasilnya, massa produk tertinggi adalah sebesar 1,65 gram pada kuat arus 1,1 A dalam waktu 1 jam percobaan.

NaOH yang diperoleh dihasilkan dari proses elektrolisis antara larutan *bittern* dan air. Berdasarkan hasil elektrolisis larutan *bittern* diperoleh produk NaOH yang ditampilkan dalam **Tabel.3**.

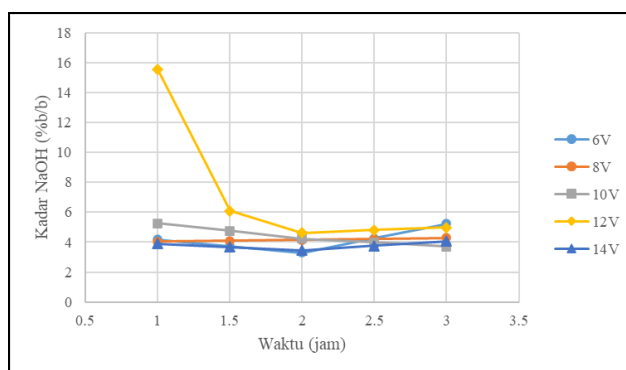
Tabel 3. Kadar NaOH Hasil Elektrolisis

Waktu (Jam)	Tegangan (Volt)	Kadar NaOH (%)
1	6	4,17
	8	4,04
	10	5,27
	12	15,53
	14	3,89
1,5	6	3,735
	8	4,09
	10	4,755
	12	6,075
	14	3,675
2	6	3,3
	8	4,14
	10	4,24
	12	4,62
	14	3,46
2,5	6	4,265
	8	4,215
	10	3,97
	12	4,8
	14	3,76

3	6	5,23
	8	4,29
	10	3,7
	12	4,98
	14	4,06

3.3. Pengaruh Waktu Elektrolisis terhadap Kadar NaOH yang dihasilkan

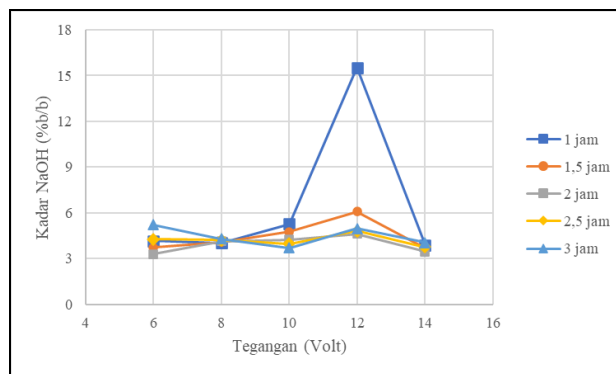
Produk NaOH yang diperoleh dari hasil percobaan diuji kadarnya di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu UGM. Hasilnya ditampilkan dalam **Gambar 3**. Pengaruh Waktu Elektrolisis (jam) Terhadap Kadar NaOH (%b/b), yang menunjukkan pengaruh waktu elektrolisis (jam) terhadap kadar NaOH (%b/b) yang dihasilkan. Siregar, dkk pada tahun 2023 menyatakan bahwa lama waktu elektrolisis dapat mempengaruhi jumlah produk yang diperoleh. Kadar NaOH tertinggi pada penelitian ini sebesar 15,53 %b/b dengan waktu elektrolisis 1 jam dan tegangan 12 volt. Berdasarkan **Gambar 3**, kadar NaOH pada beberapa variabel mengalami penurunan seiring meningkatnya waktu elektrolisis. Menurut Pratama, dkk pada tahun 2020, semakin lama waktu elektrolisis yang dijalankan dapat meningkatkan adanya penguraian kontaminan yang terdapat pada bahan baku. Kadar NaOH yang rendah dipengaruhi oleh impuritis atau kontaminan ion-ion lain yang terurai saat proses elektrolisis berlangsung. Nuzula, dkk 2020 menyatakan bahwa *bittern* memiliki beberapa impuritis dengan jumlah yang cukup tinggi terutama ion Mg. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Redjeki dan Iriani pada tahun 2021, pemisahan impuritis dapat dilakukan dengan cara pengendapan melalui proses rekristalisasi dan penambahan reagen. Berdasarkan hal tersebut diketahui bahwa proses pemurnian bahan baku belum mencapai kondisi yang optimal, sehingga kadar NaOH yang diperoleh mengalami penurunan pada variabel waktu elektrolisis yang lebih lama.



Gambar 3. Pengaruh Waktu Elektrolisis (jam) terhadap Kadar NaOH (%b/b)

3.4. Pengaruh Tegangan Elektrolisis terhadap Kadar NaOH yang Dihasilkan

Pengaruh tegangan listrik (volt) terhadap kadar NaOH (%b/b) yang dihasilkan dari proses elektrolisis sel membran disajikan dalam **Gambar 4**. Hukum Faraday I menyatakan bahwa massa zat yang diendapkan selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah muatan listrik yang mengalir. Menurut Saefudin, dkk pada tahun 2021, tingginya tegangan listrik akan meningkatkan hasil rendemen karena semakin besar tegangan listrik maka jumlah arus listrik yang dihasilkan juga semakin besar sehingga reaksi pembentukan berlangsung lebih cepat.



Gambar 4. Pengaruh Tegangan Listrik (Volt) Terhadap Kadar NaOH (%b/b)

Gambar 4. menunjukkan bahwa kadar NaOH yang dihasilkan pada proses elektrolisis tidak selalu meningkat secara linear seiring meningkatnya tegangan listrik. Akan tetapi, pada tegangan 12 volt kadar NaOH mengalami kenaikan yang cukup tinggi sedangkan pada tegangan 14 volt kadar NaOH mengalami penurunan yang cukup drastis. Hal tersebut mengindikasikan bahwa voltase terbaik untuk menghasilkan kadar NaOH yang tinggi terdapat pada tegangan 12 volt. Menurut Hidayah pada tahun 2019, endapan NaOH mengalami penurunan pada tegangan tinggi dikarenakan adanya persaingan reaksi pada tegangan tinggi sehingga pembentukan gelembung gas klorin akan lebih tinggi dibandingkan pembentukan Na^+ . Hal tersebut dikarenakan potensial sel untuk membentuk gas klorin lebih rendah dibandingkan potensial reduksi Na^+ , sehingga pembentukan logam Na^+ lebih sulit terjadi dibandingkan dengan pembentukan gas klorin. Peningkatan jumlah gelembung gas di anoda akibat reduksi ion Cl^- menjadi Cl_2 dapat menghalangi pergerakan ion Na^+ sehingga endapan NaOH yang akan terbentuk pada proses elektrolisis mengalami penurunan.

3.5. Waktu dan Tegangan Optimal pada Pembuatan NaOH dari Larutan Bittern dengan Proses Elektrolisis

Pada percobaan elektrolisis larutan bittern, pengaruh variabel waktu dan tegangan terhadap kadar NaOH yang dihasilkan sangat penting untuk memperoleh kondisi optimal. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, kadar NaOH tertinggi ditemukan pada waktu 1 jam dengan tegangan 12 volt yang menghasilkan kadar NaOH sebesar 15,53%. Hubungan antara waktu dengan tegangan pada proses elektrolisis sangat penting untuk menghasilkan kadar NaOH yang tinggi. Pada waktu 1 jam dan tegangan 12 volt, pembentukan NaOH lebih tinggi karena pada kondisi ini, laju elektrolisis cukup tinggi tanpa menyebabkan pembentukan gas sampingan yang berlebihan. Waktu 1 jam merupakan waktu optimal untuk mereduksi ion Na^+ menjadi NaOH, sementara tegangan 12 volt menunjukkan bahwa proses ini terjadi secara efisien tanpa gangguan dari reaksi sampingan yang tidak diinginkan. Pada tegangan yang lebih tinggi, meskipun laju reaksi lebih cepat, produksi gas klorin dan hidrogen juga meningkat, mengurangi ketersediaan ion Na^+ untuk direduksi menjadi NaOH. Menurut Hsu pada tahun 2020, semakin lama dan semakin tinggi tegangan yang digunakan pada proses elektrolisis maka efisiensi arusnya akan semakin menurun sehingga waktu yang terlalu lama dan tegangan yang terlalu tinggi kurang optimal untuk memperoleh hasil rendemen yang ingin diendapkan.

4. Simpulan

Waktu elektrolisis yang semakin lama dan tegangan listrik yang terlalu tinggi dapat mengurangi jumlah kadar NaOH yang dihasilkan karena semakin tinggi tegangan dan semakin lama waktu yang digunakan akan menghasilkan gelembung-gelembung gas pada ruang anoda dan katoda yang menyebabkan sulitnya pergerakan ion Na^+ untuk membentuk NaOH pada ruang anoda. Waktu dan tegangan listrik yang optimal pada proses elektrolisis larutan bittern untuk menghasilkan kadar NaOH yang cukup tinggi berada pada variasi waktu 1 jam dengan tegangan sebesar 12 volt. Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah diharapkan dapat mempertimbangkan waktu elektrolisis yang digunakan agar tidak terlalu lama untuk menghindari penurunan efisiensi arus listrik dan digunakan bahan elektroda selain grafit yang lebih tahan lama seperti elektroda platina atau emas.

Daftar Pustaka

- Amrulloh, H., Simanjuntak, W., & Situmeang, R.T.M. 2019, "Konversi Mg^{2+} dalam *Bittern* Menjadi $\text{Mg}(\text{OH})_2$ Menggunakan Metode Elektrokimia", *Prosiding Seminar Nasional Sains Matematika Informatika dan Aplikasinya IV*, 4(1), Hh. 23-20
- Badan Pusat Statistik 2023, "Statistik Impor NaOH solid Indonesia 2022. Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia."
- Bengi, M., F., Wahyuni, A. S., Syamsuryani, W., Mustika, D. 2018, 'Perbandingan Arus dan Tegangan Larutan Elektrolit berbagai Jenis Garam', *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 1(1), Hh. 32-36
- Dewi, S. R., Handayani, R., Bakar, A., Ramli, S. 2022 "Pemanfaatan *Bittern* Dan Cuka Sebagai Koagulan Pada Pembuatan Tahu", *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, 3(1), Hh. 22-27
- Faizah, N., Indriyani, L., Juwari, & Renanto 2018, "Pra Desain Pabrik Pupuk $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dari *Bittern*", *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), Hh. 2337-2340
- Fajri, M. F., Hakim, L., Meriatna, Ibrahim, I. 2022, "Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Metode Elektrolisis Fotovoltaik (PV) dari Air Laut Menggunakan Elektroda Graphite", *Jurnal Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh*, Hh. 889-897
- Fazlunnazar, M, et al. 2020, "Produksi Gas Hidrogen dari Air Laut dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Tembaga dan Alumunium (Cu dan Al)", *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(1), Hh. 58-66
- Fitriyanti 2021, "Pengaruh Luas Permukaan Elektroda dengan Penambahan PWM Controller Terhadap Efisiensi Produksi Gas Hidrogen pada Proses Elektrolisis", *Jurnal Sains Fisika*, 1(1), Hh. 42-52
- Hasan, M.S. & Widayati 2022, "Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia", *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 3(01), Hh. 38-48
- Hidayah, F.F. 2019, "Pengaruh Voltase Terhadap Rendemen Magnesium Hidroksida Dari *Bittern* Melalui Sistem Elektrolisis", *Jurnal Sains Dasar*, 3(2), Hh. 156-161
- Hsu, G. S. W. 2020, "Effects Of Electrolysis Time And Electric Potential on Chlorine Generation of Electrolyzed Deep Ocean Water", *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(4), Hh. 759-765

- Huamani, J. A. R., Collana, J. T. M., Cordova, Z. M. D., & Pisfil, J. A. M. 2021, "Factors Influencing the Formation of Sodium Hydroxide by an Ion Exchange Membrane Cell", *Journal Batteries*, 7(34), Hh. 1-11
- Husada, I. W. 2016 "Proses-Proses Berbasis Membran Penukar Ion dalam Industri Kimia", *Jurnal Teknik Kimia ITB*, 1(1), Hh. 1-8
- Li K., Fan, Q., Chuai, H., Liu, H., Zhang, S., Ma, X. 2021, "Revisiting Chlor-Alkali Electrolyzers: from Materials to Devices", *Journal Transactions of Tianjin University*, 27(1), Hh. 202-216
- Maharani, S., Mulyono, S., Putri, E. R. 2022, "Kaitan Konduktivitas Listrik dengan Konsentrasi Larutan Garam Dapur", *Progressive Physics Journal*, 3(2), Hh. 157-163
- Nuzula, N. I., Pratiwi, W. S. W., Indriyawati, N., & Efendy, M. 2021, "Analisa Komposisi Kimia pada *Bittern* (Studi kasus Tambak Garam Desa Pedelekan Pamekasan Madura)", *Jurnal Seminar Nasional Kahuripan*, 1(1), Hh. 173-176
- Paidar, M., Fateev, V., & Bouzek, K. 2019. "Membrane electrolysis—History, current status and perspective", *Journal Electrochimica Acta*, 209(1), Hh. 737-756
- Pratama, D. I., Aditya, R. B., Fatimah, S. 2020, "Pengaruh Waktu dan Tegangan Listrik terhadap Kadar COD dan Fosfat pada Limbah Cair *Nata De Coco* Dengan Metode Hibridisasi *Pipe Filter Layer-Elektrolisis (HPFLE)*", 09(01), Hh. 308-314
- Priyanto, N. E., Kurniawan, E., Estanto 2018, "Kontrol Tegangan menggunakan DC to DC Converter Tipe Boost untuk Elektrolisis Air Laut", *E-Proceeding of Engineering*, 5(3), Hh. 3934-3941
- Redjeki, S. & Iriani 2021, "Produksi Garam Industri dari Garam Rakyat", *Jurnal Teknik Kimia*, 16(1), Hh. 35-38
- Saefudin, S., Sulisty, Sulardjaka, Arfiansyah, A. 2021, "Desain Sel Elektrolisis untuk Memproduksi MgO dari Limbah Garam Rakyat", *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), Hh.225-233
- Siregar, S., Hafizah, M. A., Wibowo, H. B. 2023, "Kajian Pengaruh Waktu Elektrolisis dan Arus Listrik Terhadap Pembentukan Endapan Massa Ag pada Katoda pada Aplikasi Pelapisan Logam Senjata", *Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 10(8), Hh. 4104-4108
- Solikha, D. F. 2019, "Penentuan Kadar Tembaga (Ii) Pada Sampel Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (Ssa) Perkin Erlmer Analyst 100 Metode Kurva Kalibrasi", *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 4(2), Hh. 1-11
- Sumanto, Maghfiroh, R. E. 2019, "Efek Temperatur Terhadap Laju Korosi", *Jurnal Flywheel*, 10(1), Hh. 26-32
- Thiel, G. P. 2017, "Utilization of Desalination Brine for Sodium Hydroxide Production: Technologies, Engineering Principles, Recovery Limits and Future Directions", *MIT Open Access Articles*, Hh. 14-16
- Wahyono, Y., Sutanto, H., Hidayanto, E. 2017, "Produksi Gas Hydrogen Menggunakan Metode Elektrolisis dari Elektrolit Air dan Air Laut dengan Penambahan Katalis NaOH", *Youngster Physics Journal*, 6(4), Hh. 353-359
- Witjaksana, B., Sarya, G., Widhiarto, H. 2016, "Pembuatan Batu Bata Tanpa Bakar dengan Campuran Sodium Hiroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na₂SiO₃)", *Jurnal Hasil Penelitian LPPM*, 1(1), Hh. 25-32