

# PENGARUH JENIS CAMPURAN BATUBARA TERHADAP KEBUTUHAN ALKALI AIR LAUT DALAM MENYERAP GAS $SO_2$ HASIL PEMBAKARAN BATUBARA DI PT PAITON OPERATION AND MAINTENANCE INDONESIA

Gerda Safira Romadhona<sup>1</sup>, Rizqina Kautsarrany<sup>1</sup>, Ariani<sup>1</sup>, dan Erwan Yulianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, 65141, Indonesia

<sup>2</sup> PT POMI, Jl. Surabaya-Situbondo KM. 141, Bhinor, Paiton, Probolinggo, 67291, Indonesia

gerdasafiraromadhona@gmail.com; [ariani@polinema.ac.id]

## ABSTRAK

Menipisnya jumlah batubara dari sumber yang lama, yaitu Adaro dan Kideco, membuat PT POMI saat ini melakukan pencampuran dengan sumber yang baru, diantaranya Baramulti, Jembayan, dan Titan. Namun, dari jenis batubara baru memiliki kandungan sulfur yang lebih tinggi sehingga meningkatkan potensi pencemaran udara apabila gas  $SO_2$  hasil pembakaran tidak terserap sepenuhnya oleh air laut. Perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh total sulfur dalam campuran batubara terhadap air laut dalam menyerap gas hasil pembakaran dan perkiraan kebutuhan alkali air laut dalam menyerap gas  $SO_2$  berdasarkan kadar  $SO_4^{2-}$ . Penelitian melibatkan proses pembakaran 50 gram batubara dan penyerapan gas hasil pembakaran oleh 500 mL air laut menggunakan sistem *batch*. Rasio campuran batubara sejumlah 4:2 dengan variasi campuran, yaitu Adaro:Baramulti, Adaro:Jembayan, Adaro:Titan, Kideco:Baramulti, Kideco:Jembayan, dan Kideco:Titan. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa Kideco:Titan (4:2) dengan total sulfur sebesar 0,163% memberi pengaruh terbesar terhadap keterserapan gas  $SO_2$  oleh air laut dengan penurunan pH dan alkalinitas paling banyak, serta kadar  $SO_4^{2-}$  paling tinggi. Kebutuhan alkali air laut dalam menyerap gas  $SO_2$  yang paling tinggi untuk pembakaran batubara Adaro:Baramulti (4:2) sebesar 0,125 gram.

**Kata kunci:** air laut, batubara, gas  $SO_2$ , pembakaran

## ABSTRACT

The depletion of coal from old sources, namely Adaro and Kideco, has forced PT POMI to mix with new sources, including Baramulti, Jembayan, and Titan. However, the new type of coal has a higher sulfur content, thereby increasing the potential for air pollution if the  $SO_2$  gas produced by combustion is not fully absorbed by sea water. It is necessary to conduct research on the effect of total sulfur in coal mixture on seawater in absorbing combustion gases and estimate the need for alkaline of seawater in absorbing  $SO_2$  gas based on  $SO_4^{2-}$  levels. The research involved the process of burning 50 grams of coal and the absorption of combustion gases by 500 mL of seawater using a batch system. The coal mix ratio is 4:2 with various blends, namely Adaro:Baramulti, Adaro:Jembayan, Adaro:Titan, Kideco:Baramulti, Kideco:Jembayan, and Kideco:Titan. The results showed that Kideco:Titan (4:2) with a total sulfur of 0,163% gave the greatest effect on the absorption of  $SO_2$  gas by seawater with the greatest decrease in pH and alkalinity, and the highest  $SO_4^{2-}$  content. The need for alkaline seawater to absorb  $SO_2$  gas is the highest for coal combustion of Adaro:Baramulti (4:2) at 0.125 grams.

**Keywords:** sea water, coal,  $SO_2$  gas, combustion

## 1. PENDAHULUAN

PT Paiton Operation and Maintenance Indonesia (PT POMI) adalah perusahaan swasta yang mengoperasikan pembangkit listrik bertenaga uap pada PLTU Paiton Unit 3, 7, dan 8. Bahan baku utama yang digunakan selama proses adalah batubara. Penggunaan batubara sumber energi tidak terbarukan membuat PT POMI harus mengganti ketersediaannya di sumber lama dengan sumber yang baru [1]. Namun, apabila kandungan sulfur antara jenis batubara lama dengan yang baru dibandingkan, maka diperoleh hasil bahwa jenis batubara baru memiliki kandungan sulfur yang lebih tinggi daripada sebelumnya. Sebagai perbandingan kandungan sulfur batubara lama, yaitu Adaro sebesar 0,15 mass% dan Kideco sebesar 0,11 mass% dengan batubara baru, diantaranya Baramulti sebesar 0,12 mass%, Jembayan sebesar 0,22 mass%, dan Titan sebesar 0,27 mass%. Kandungan sulfur terhadap variasi campuran batubara baru yang lebih tinggi akan meningkatkan potensi pencemaran udara apabila gas sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) hasil pembakaran batubara tidak terserap sepenuhnya oleh air laut [2].

Air laut mengandung unsur-unsur alkali (basa) yang dapat digambarkan konsentrasi totalnya dalam alkalinitas. Unsur-unsur alkali dalam air laut membuat keterserapan terhadap sulfur dioksida menjadi dua hingga tiga kali lebih besar daripada air biasa [3]. Selain itu, keterserapan sulfur dioksida akan meningkat pada nilai pH yang lebih tinggi [4]. Peningkatan keterserapan sulfur dioksida disebabkan komponen alkali air laut berupa kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium bikarbonat ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ) [5]. Selain itu, komponen alkali dalam air laut juga memiliki kemampuan menyangga fluktuasi pH [6]. Semakin tinggi alkalinitas membuat kemampuan air untuk menyangga fluktuasi pH menjadi semakin rendah. Dalam kondisi pH yang tinggi, bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) akan bereaksi menjadi karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dengan melepaskan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) sehingga kondisi air laut menjadi netral kembali. Begitu pun saat kondisi asam, maka karbonat akan menangkap ion hidrogen menjadi bikarbonat sehingga kondisi air menjadi netral kembali. Air laut dalam menyerap sulfur dioksida akan membentuk bisulfit ( $\text{HSO}_3^-$ ) dan sulfit dengan melepas ion hidrogen sebagai sifat asam sehingga dapat menurunkan nilai pH air laut. Penurunan nilai pH menunjukkan banyaknya sulfur dioksida yang terserap dalam air laut dimana semakin banyak konsentrasi sulfur dioksida yang terserap membuat pH air laut semakin menurun atau menambah derajat keasaman [3].

Penelitian dilakukan terhadap air laut dalam menyerap gas hasil pembakaran campuran batubara dengan nilai total sulfur yang berbeda. Parameter hasil yang digunakan berupa pH, alkalinitas, dan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$ . Selain itu, juga dihitung perkiraan kebutuhan alkali air laut berupa bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) yang perlu ditambah agar bisa menyerap gas sulfur dioksida hasil pembakaran batubara secara maksimal tanpa menimbulkan perubahan pH yang jauh dari pH natural air laut.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

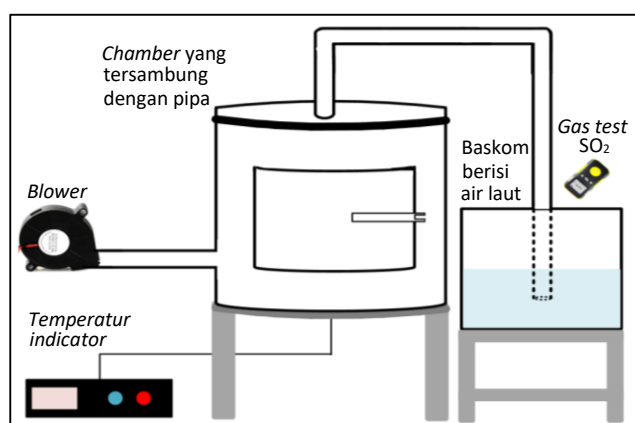
Penelitian dilakukan secara eksperimen di kediaman mahasiswa dan Laboratorium Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang. Adapun tahapan penelitian meliputi proses persiapan bahan baku, pembakaran variabel batubara, penyerapan gas  $\text{SO}_2$  oleh air laut, dan analisa sampel.

### 2.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang disiapkan berupa 50 gram batubara yang telah dikering anginkan, beserta 500 mL air laut dengan alkalinitas untuk kadar bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) sebesar 152,6-196 mg/L dan pH sebesar 8,1-8,3 sesuai ketentuan PT POMI. Pencampuran batubara dilakukan menggunakan rasio 4:2 dengan massa terbesar dari sumber yang lama, yaitu Adaro dan Kideco, dan massa terkecil sumber yang baru, diantaranya Baramulti, Jembayan, dan Titan.

### 2.2. Tahap Pembakaran Batubara dan Penyerapan Gas $\text{SO}_2$ oleh Air Laut

Variabel batubara yang dipilih kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* pada rangkaian alat penelitian. Pembakaran dilakukan menggunakan gas *torch* hingga muncul bara api pada seluruh bagian batubara. Pintu *chamber* ditutup, lalu *blower* dinyalakan agar bara api tetap menyala. Proses pembakaran selesai jika batubara habis terbakar menjadi abu. Gas hasil pembakaran batubara mengalir menuju baskom berisi air laut melalui pipa yang terpasang pada *chamber*. Pemeriksaan dilakukan terhadap ada tidaknya gas sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) yang lolos ke lingkungan (tidak terserap air laut) menggunakan *gas test*  $\text{SO}_2$ .



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

### 2.3. Tahap Analisa Sampel

Analisa dilakukan terhadap sampel air laut sebelum dan sesudah pembakaran variabel batubara dengan variabel pH, alkalinitas, dan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$ . Analisa pH air laut dilakukan secara otomatis menggunakan pH meter. Analisa alkalinitas dilakukan secara titrimetri pada 25 mL air laut menggunakan ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,02 N sebagai titran dan tiga tetes indikator *Methyl Orange* (MO), kemudian dihitung %reduksi alkali air laut dengan persamaan:

$$\text{Total Alkalinitas } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3\right) = \frac{\text{Volume titran} \times 1000}{\text{Volume sampel}} \quad (1)$$

$$\% \text{ Reduksi} = \frac{\text{Alkalinitas awal} - \text{Alkalinitas akhir}}{\text{Alkalinitas awal}} \times 100\% \quad (2)$$

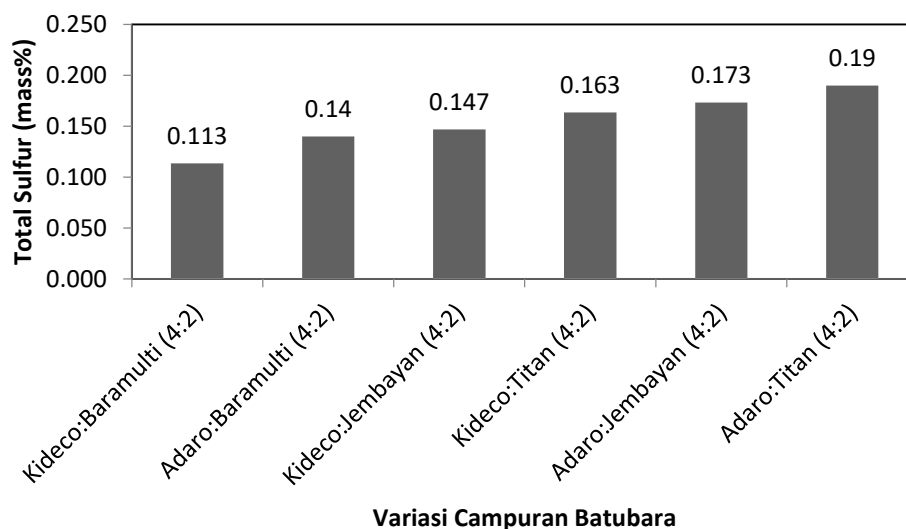
Analisa kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  dilakukan terhadap 25 mL air laut yang telah diencerkan 100 kali, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan penambahan 1,25 mL *Conditioning Solution B*, lalu diaduk lagi dengan penambahan 2,5 mL larutan  $\text{BaCl}_2$ . Besar absorbansi dilakukan menggunakan *UV-Vis spectrophotometer* dengan panjang gelombang

420 nm. Pada persamaan kurva kalibrasi, besar absorbansi yang terukur sebagai nilai y untuk mencari konsentrasi (ppm) sebagai nilai x. Kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  diketahui menggunakan persamaan berikut.

$$\text{SO}_4 \text{ yang terserap (ppm)} = \text{Konsentrasi (ppm)} \times \text{Pengenceran} \quad (3)$$

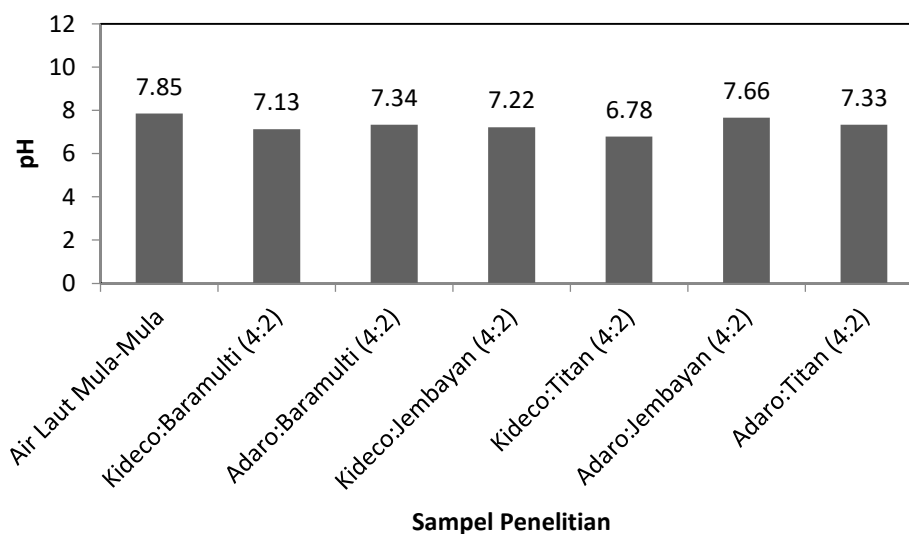
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasar data *coal proximate analysis* PT POMI, masing-masing jenis batubara memiliki kandungan sulfur yang berbeda seperti pada Gambar 2. Jenis campuran batubara sebagai variabel penelitian memiliki rasio yang sama sebesar 4:2 dimana menyesuaikan penggunaan di PT POMI.



**Gambar 2.** Grafik urutan nilai total sulfur pada variasi campuran batubara

#### 3.1. Pengaruh Total Sulfur dalam Campuran Batubara terhadap Air Laut dalam Menyerap Gas Hasil Pembakaran Berdasarkan Parameter pH

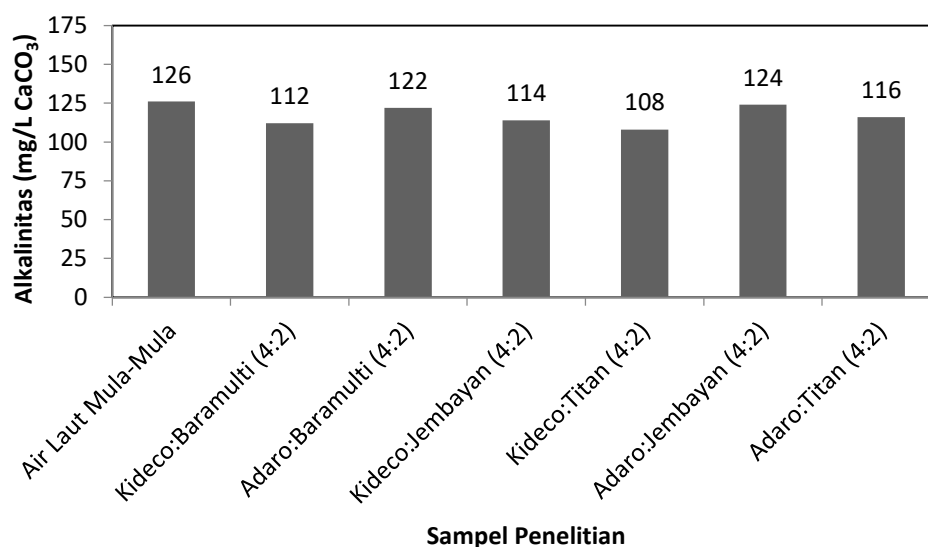


**Gambar 3.** Grafik perubahan pH air laut sebelum dan sesudah pembakaran batubara

Pada Gambar 3 menunjukkan penurunan nilai pH sesudah penyerapan gas hasil pembakaran batubara oleh air laut. Sebelum pembakaran batubara, pH air laut sebesar 7,85. Sesudah pembakaran, air laut mengalami penurunan nilai pH yang disebabkan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dalam gas hasil pembakaran yang terserap oleh air laut. Reaksi yang terjadi antara sulfur dioksida dengan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi bisulfit ( $\text{HSO}_3$ ). Kemudian, bisulfit bereaksi dengan oksigen membentuk sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ). Ion hidrogen sebagai pembawa sifat asam yang membuat pH air laut menjadi turun. Pembakaran batubara pada penelitian harus terjadi pada suhu tinggi sehingga mineral pirit sebagai komponen terbesar pada sulfur batubara dapat bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan sulfur dioksida [7]. Semakin besar sulfur dioksida yang dihasilkan menyebabkan reaksi untuk melepaskan ion hidrogen semakin besar [3].

### 3.2 Pengaruh Total Sulfur dalam Campuran Batubara terhadap Air Laut dalam Menyerap Gas Hasil Pembakaran Berdasarkan Parameter Alkalinitas

Analisa alkalinitas bertujuan mengetahui kemampuan air laut dalam menyangga pH dengan mengukur kandungan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Besar alkalinitas diperoleh melalui titrasi asam basa. Titrasi berupa larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) untuk menetralkan komponen alkali pembawa sifat basa sampai titik akhir titrasi sebesar pH 4,5.



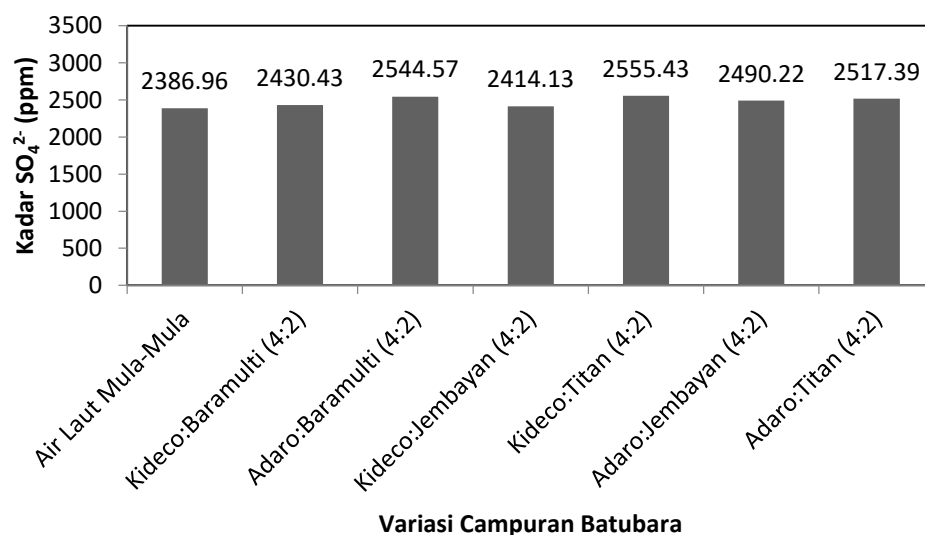
**Gambar 4.** Grafik perubahan alkalinitas air laut sebelum dan sesudah pembakaran batubara

Dari Gambar 4 diperoleh besar alkalinitas air laut sebesar 126 mg/L  $\text{CaCO}_3$  dan mengalami penurunan sesudah menyerap gas hasil pembakaran batubara. Penurunan alkalinitas air laut disebabkan pembentuk alkalinitas berupa bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) akan dipakai untuk mengikat ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) sehingga membentuk karbon dioksida dan air [8]. Suhu pembakaran batubara berpengaruh terhadap mineral pirit dalam batubara yang akan bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan sulfur dioksida [7]. Selain faktor pembakaran batubara, nilai alkalinitas air laut sebagai absorben

gas hasil pembakaran akan berpengaruh kemampuan dalam mempertahankan pH dari perubahan (menjaga pH agar tetap stabil dari keadaan semula) [9].

### 3.3 Pengaruh Total Sulfur dalam Campuran Batubara terhadap Air Laut dalam Menyerap Gas Hasil Pembakaran Berdasarkan Parameter Kadar $\text{SO}_4^{2-}$

Pengujian kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  bertujuan mengetahui jumlah keterserapan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dalam air laut. Hasil analisa kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  dalam air laut sesudah pembakaran jenis campuran batubara dapat dilihat pada Gambar 5.

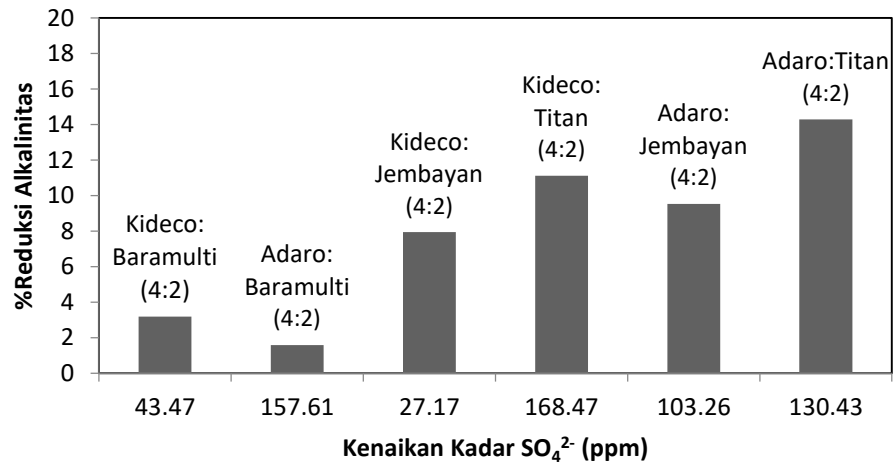


**Gambar 5.** Grafik perubahan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  air laut sebelum dan sesudah pembakaran batubara

Setelah pembakaran, diperoleh kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  yang berbeda untuk masing-masing jenis campuran batubara. Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) yang terserap air laut akan bereaksi menjadi bisulfit ( $\text{HSO}_3^-$ ), kemudian berikatan dengan oksigen untuk membentuk sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Penambahan sulfat dalam air laut yang juga memiliki komponen yang sama membuat kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  dalam air laut mengalami kenaikan [1]. Terdapat pengaruh antara temperatur air laut dan konsentrasi gas sulfur dioksida kenaikan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  setelah pembakaran batubara. Semakin rendah suhu operasi membuat penyerapan sulfur dioksida semakin baik dan perbedaan konsentrasi merupakan *driving force* dari proses difusi antar dua fluida [10].

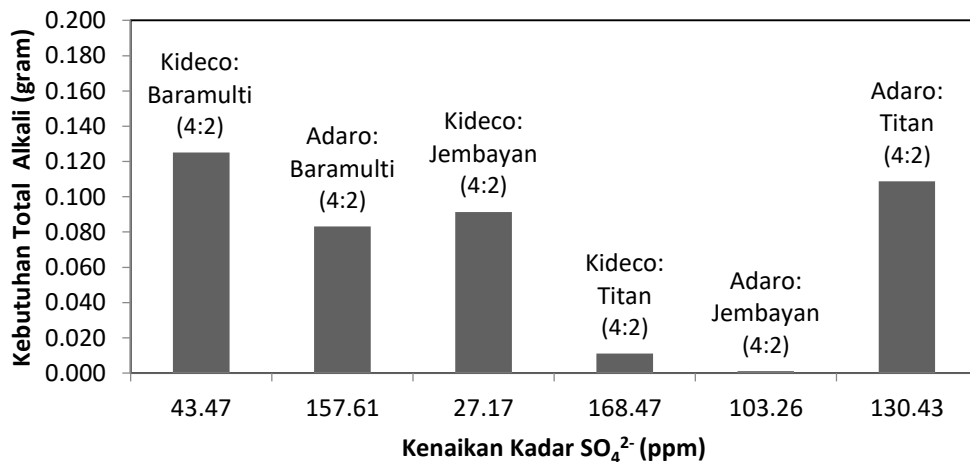
### 3.4 Perkiraan Kebutuhan Alkali Air Laut untuk Menyerap Sulfur Dioksida berdasarkan Kadar $\text{SO}_4^{2-}$

Dari Gambar 6 menunjukkan hubungan %reduksi alkalinitas terhadap kenaikan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  menghasilkan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) akan berikatan dengan komponen alkali sehingga menurunkan nilai alkalinitas air laut yang ditunjukkan sebagai %reduksi. Dapat dihitung kebutuhan alkali air laut berupa bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dalam menyerap gas sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) hasil pembakaran batubara [3]. Metode perhitungan menggunakan persamaan perbandingan mol pada reaktan dan produk pada proses *flue gas desulfurization*.



**Gambar 6.** Grafik %reduksi alkalinitas terhadap kenaikan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$

Kenaikan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  yang berada dalam satuan ppm (mg/L) awalnya diubah menjadi mol, lalu dimasukkan dalam persamaan pertama untuk memperoleh jumlah  $\text{H}^+$  yang bereaksi menggunakan perbandingan koefisien. Selanjutnya, dapat ditentukan mol untuk masing-masing alkali yang berikatan dengan ion hidrogen, yaitu  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Jumlah mol  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ , kemudian akan dirubah kembali menjadi bentuk gram untuk mencari selisih nilai dengan data penurunan alkalinitas air laut dari praktikum. Melalui nilai selisih yang diperoleh, maka dapat diketahui kebutuhan alkali yang perlu ditambah dalam air laut agar bisa menyerap gas sulfur dioksida hasil pembakaran batubara secara maksimal tanpa menimbulkan perubahan pH yang jauh dari pH natural air laut. Pada Gambar 7 menunjukkan kebutuhan total alkali terhadap kenaikan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$ .



**Gambar 7.** Grafik kebutuhan total alkali terhadap kenaikan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Pengaruh total sulfur dalam campuran batubara terhadap air laut dalam menyerap gas hasil pembakaran ditinjau dari parameter pH, alkalinitas, dan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$ . Untuk pH, yaitu semakin tinggi kandungan total sulfur campuran batubara berakibat pada semakin menurunnya nilai pH. Diperoleh hasil penurunan terbesar pada jenis campuran batubara Kideco: Titan (4:2) dari pH awal sebesar 7,85 menjadi 6,87. Untuk alkalinitas, yaitu semakin tinggi kandungan total sulfur campuran batubara berakibat pada semakin menurunnya nilai alkalinitas. Diperoleh hasil penurunan terbesar pada jenis campuran batubara Kideco: Titan (4:2) sebesar 14,857% dari alkalinitas awal sebesar 126 mg/L  $\text{CaCO}_3$  menjadi 108 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Untuk kadar  $\text{SO}_4^{2-}$ , yaitu semakin tinggi kandungan total sulfur campuran batubara berakibat pada semakin meningkatnya kadar  $\text{SO}_4^{2-}$ . Diperoleh hasil peningkatan terbanyak pada jenis campuran batubara Kideco: Titan (4:2) dari kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  sebesar 2386,96 ppm menjadi 2555,434783 ppm. Kebutuhan alkali total air laut secara eksperimen dalam menyerap sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) hasil pembakaran 50 gram jenis campuran batubara oleh 500 mL air laut diperoleh hasil kebutuhan alkali tertinggi pada jenis campuran batubara Adaro: Baramulti (4:2) sebesar 0,125 gram.

### 4.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, maka penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya dapat memaksimalkan pengeringan batubara hingga kadar air menjadi sedikit guna mempermudah munculnya bara api sehingga proses pembakaran menjadi lebih cepat dan melakukan keterbaruan rangkaian alat penelitian, terutama pada pintu *chamber* batubara pada celah pintu saat proses pembakaran.

## REFERENSI

- [1] Triswan Suseno dan Harta Haryadi, "Kebijakan Pengendalian Produksi Batubara Nasional Triswan Suseno dan Harta Haryadi, Analisis Teknologi Mineral dan Batubara Jalan Jenderal Sudirman, Puslitbang," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 9, no. 1, pp. 23–34, 2013.
- [2] Nukman, "Uji Emisi Hasil Pembakaran Batubara Hasil Proses Aglomerasi Air-," *Rekayasa Sriwij.*, vol. 19, no. 1, pp. 34–38, 2010.
- [3] A. H. Abdulsattar, S. Sridhar, and L. A. Bromley, "Thermodynamics of the sulfur dioxide-seawater system," *AIChE J.*, vol. 23, no. 1, pp. 62–68, 1977, doi: 10.1002/aic.690230111.
- [4] G. Al-Enezi, H. Ettouney, H. El-Dessouky, and N. Fawzi, "Solubility of sulfur dioxide in seawater," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 40, no. 5, pp. 1434–1441, 2001, doi: 10.1021/ie9905963.
- [5] A. D. Khawaji and J. M. Wie, "Seawater scrubbing for the removal of sulfur dioxide in a steam turbine power plant," *Proc. ASME Power Conf. 2005*, vol. PART A, pp. 667–678, 2005, doi: 10.1115/pwr2005-50051.
- [6] T. A. Audia, W. Zamrudy, and E. Yulianto, "Penurunan Kandungan Besi Terlarut di Economizer Inlet Menggunakan Kombinasi Pengolahan Air Pada PLTU Paiton Unit 3, 7 dan 8," *J. Distilat*, vol. 6, no. 9, pp. 334–339, 2020.



- [7] J. Deng, X. Ma, Y. Zhang, Y. Li, and W. Zhu, "Effects of pyrite on the spontaneous combustion of coal," *Int. J. Coal Sci. Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 306–311, 2015, doi: 10.1007/s40789-015-0085-y.
- [8] K. Oikawa, C. Yongsirib, K. Takeda, and T. Harimotoa, "Seawater Flue Gas Desulfurization: Its Technical Implications and Performance Results," *Environ. Prog.*, vol. 22, no. 1, pp. 67–73, 2003.
- [9] C. E. Boyd, "pH, Carbon Dioxide, and Alkalinity," *Water Qual.*, pp. 153–178, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-17446-4\_8.
- [10] R. K. Srivastava and W. Jozewicz, "Flue gas desulfurization: The state of the art," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 51, no. 12, pp. 1676–1688, 2001, doi: 10.1080/10473289.2001.10464387.