

## Red Mud Air Purifier (REPAF): Inovasi Teknologi Berbahan Baku *Tailing Bauksit* Sebagai Penyerap Asap Kebakaran Hutan di Riau

Sasa Aulia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> sasaaulia@mail.ugm.ac.id

<sup>1</sup>Teknik Fisika, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Received : 20 July 22  
Accepted : 20 Nov 22  
Published : 27 Nov 22

### Abstract

**Abstract:** Based on The Central Bureau of Statistics recorded that there were 16,592,187.00 tons of bauxite in 2021 and most of them were in the Sumatra, Indonesia. Therefore, an innovative use of synthetic zeolite which is processed from bauxite tailings is proposed as a solution in dealing with smoke from forest fires in Riau. This system is called the Red Mud Panel Air Purifier (REPAF), which is an innovative air purifier technology that utilizes synthetic zeolite from the processing of bauxite tailings as a CO<sub>2</sub> gas adsorbent. The research method includes calculating the energy consumption of the REPAF, as well as an analysis of the economic feasibility of using the REPAF system. The process of processing bauxite waste into synthetic zeolite is carried out through a caustic fusion process, followed by the addition of sodium silicate precursors, and crystallization at a temperature of 90-120°C under atmospheric pressure. Furthermore, after achieving crystallization, the zeolite is applied to the aluminum. The results showed that REPAF was able to absorb CO<sub>2</sub> with an absorption capacity of up to 6.4 mmol/g zeolite. REPAF energy consumption is estimated to be around 7,142×10<sup>5</sup> kJ during the caustic fusion process and 4,608×10<sup>4</sup> kJ during the crystallization process, assuming the utilization of bauxite tailings is 33.5%. With this REPAF technological innovation, it can reduce environmental problems caused by bauxite waste while creating clean air so that it is expected to reduce carbon emissions by 29% and realize point 3 and point 7 of the 2030 SDGs.

**Keywords:** Adsorbents, forest fires, REPAF, Riau, bauxite tailings.

### Abstrak

Menurut Data Badan Pusat Statistika, terdapat 16.592.187,00 ton bauksit pada 2021 dan sebagian besar berada di wilayah Sumatra, Indonesia. Oleh karena itu, diusulkanlah sebuah inovasi pemanfaatan zeolit sintetis yang diolah dari tailing bauksit sebagai solusi dalam menangani asap kebakaran hutan di Riau. Sistem ini bernama Red Mud Panel Air Purifier (REPAF) yaitu suatu inovasi teknologi pembersih udara yang memanfaatkan zeolit sintetis dari hasil pengolahan tailing bauksit sebagai adsorben gas CO<sub>2</sub>. Metode penelitian meliputi perhitungan konsumsi energi dari REPAF, serta analisis kelayakan ekonomi dari penggunaan sistem REPAF. Proses pengolahan limbah bauksit menjadi zeolit sintetis dilakukan melalui proses fusi kaustik, dilanjutkan dengan penambahan prekursor natrium silikat, dan kristalisasi dengan temperatur 90-120°C di bawah tekanan atmosfer. Selanjutnya setelah tercapai kristalisasi, zeolit diaplikasikan di dalam aluminium. Hasil penelitian menunjukkan REPAF mampu menyerap gas CO<sub>2</sub> dengan kapasitas penyerapan mencapai 6.4 mmol/g zeolit,. Konsumsi energi REPAF diperkirakan sekitar 7.142×10<sup>5</sup> kJ saat proses fusi kaustik serta 4.608×10<sup>4</sup> kJ saat proses kristalisasi dengan asumsi pemanfaatan tailing bauksit adalah 33.5%. Dengan adanya inovasi teknologi REPAF ini, dapat mengurangi permasalahan lingkungan yang diakibatkan dari limbah bauksit sekaligus menciptakan udara yang bersih sehingga diharapkan dapat menurunkan emisi karbon sebanyak 29% serta mewujudkan poin 3 dan poin 7 SDGs 2030.

**Keywords:** adsorben, kebakaran hutan, REPAF, Riau, tailing bauksit.

*This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license*



## 1. Pendahuluan

Indonesia menempati urutan ke-9 sebagai negara dengan hutan dan lahan gambut terluas di dunia dengan luas 66,18 juta ha (PIPIB, 2021). Sebanyak 6.5 juta ha berada di Pulau Sumatra, tepatnya Riau. Hal tersebut memberikan dampak positif berupa keragaman biodiversitas serta terjaganya kualitas udara. Di sisi lain, luasnya wilayah hutan disalahgunakan oleh sebagian oknum tidak bertanggung jawab dengan melakukan pembukaan perkebunan kelapa sawit dan illegal logging (Miettinen dan Liew, 2010). Sebagai akibatnya adalah terjadi kabut asap yang disebabkan oleh kebakaran hutan.

Kebakaran hutan adalah salah satu masalah terbesar yang dihadapi umat manusia modern. Kebakaran hutan merupakan permasalahan krusial yang rutin terjadi setiap tahun (Erwin, 2014). Peristiwa ini menjadi penyebab utama Indonesia berada pada urutan keempat sebagai negara penyumbang emisi karbon tertinggi di dunia. Tingginya emisi kadar karbondioksida yang dihasilkan oleh kebakaran hutan mengakibatkan sejumlah dampak negatif bagi penduduk. Secara umum, masalah kesehatan yang terjadi berkaitan dengan isu kesehatan mental berupa trauma, luka fisik akibat kebakaran, penyakit pernapasan, hingga kematian secara masif (Rongbin Xu, M.B., et al., 2020). Masalah utama yang menjadi sorotan pemerintah adalah ISPA atau Infeksi Saluran Pernapasan. Pada tahun 2019, Dinas Kesehatan Provinsi Riau mencatat sebanyak 61.017 penduduk Riau terserang ISPA (Infeksi Saluran Pernapasan Akut) akibat asap kebakaran hutan (Dinas Kesehatan Provinsi Riau, 2019).

Indonesia terkenal akan melimpahnya potensi sumber daya alam bauksit. Badan Pusat Statistika mencatat terdapat 16.592.187,00 ton bauksit pada 2021 dan sebagian besar berada di wilayah Sumatra (BPS, 2021). Kepulauan Riau dikenal dengan limpahan potensi sumber daya bauksit. Namun, pemanfaatan bauksit ini mengakibatkan produksi limbah yang tidak terkendali dan menimbulkan pencemaran lingkungan sekitar. Limbah bauksit sulit terlarut dalam air, sehingga keberadaannya menyebabkan kerugian, seperti pencemaran air sungai sekitar lokasi penambangan akibat limbah bauksit (Meichelin, 2018). Di sisi lain, kandungan limbah bauksit yang dimanfaatkan secara bijak memiliki kemampuan untuk mengabsorpsi dan menetralkan karbondioksida di udara (Qian, Z., et al, 2019).

Melalui Perjanjian Paris 2015, Indonesia telah berkomitmen untuk menurunkan emisi karbon sebanyak 29% pada tahun 2030 dengan upaya sendiri. Salah satu strategi untuk mencapai target tersebut adalah melakukan transisi pada sektor energi dengan cara meningkatkan penggunaan teknologi ramah lingkungan.

Oleh karena itu, diperlukan sebuah inovasi pemanfaatan limbah tailing bauksit sebagai bentuk pemanfaatan kembali dari limbah yang sudah tidak terpakai untuk mengatasi asap akibat bencana kebakaran hutan sekaligus menurunkan gas emisi karbon. Salah satu upaya yang paling banyak diterapkan untuk pengolahan udara menjadi udara bersih dan sehat adalah menggunakan zeolit serta adsorben. Salah satu bahan adsorben yang dapat mereduksi kandungan CO<sub>2</sub> pada asap kebakaran hutan adalah zeolite. Zeolit memiliki struktur yang dapat mengadsorpsi senyawa H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S (Weitkamp dan Puppe, 1999). Zeolit dapat diperoleh melalui limbah bauksit yang diproses secara hidrotermal.

Pada penelitian ini, diusulkan sebuah inovasi integrasi sistem pengolahansipasi pada kebakaran hutan di Riau bernama Red Mud Panel Air Purifier (REPAF) untuk mengolah asap kebakaran hutan sebagai udara yang lebih bersih dan seha sekaligus mendukung mewujudkan target SGDs 2030 pada poin 3 (Good Health and Well-Being) dan 7 (Affordable and Clean Energy) adalah target tujuan yang diharapkan dapat tercapai melalui rumusan inovasi, sehingga bisa memberikan manfaat berkelanjutan yang juga menyentuh aspek keberlangsungan hidup di masyarakat RIAU.

## 2. Metode

### 2.1. Kabut Asap

Sistem Kabut asap juga bisa disebut sebagai smog (smoke dan fog). Istilah “smog” ini diusulkan pada tahun 1950 oleh Dr. Henry Antoine Des Voeux dalam papernya yang berjudul “Fog and Smoke”. Di Indonesia, Provinsi Riau merupakan salah satu daerah yang beberapa kali pernah berdampak polusi kabut asap bahkan hingga melintas batas negara. Kabut asap ini terjadi disebabkan karena adanya kebakaran lahan gambut yang mendominasi kawasan Riau yaitu sebesar 60% (Saharjo B et al., 2010).

Ketika terjadi kebakaran ini, karbon dilepaskan dalam bentuk karbon dioksida, karbon monoksida, hidrokarbon, serta partikel dan zat lain dengan jumlah yang menurun (Ward, 1990). Dari hasil pembakaran

tersebut, karbon dioksida merupakan salah satu emisi terbesar yang dilepaskan ke atmosfer. Polutan karbon monoksida biasanya diproduksi melalui pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar lembab atau basah. Sedangkan Metana ( $\text{CH}_4$ ) merupakan gas rumah kaca ketiga terbesar berlimpah yang berpengaruh terhadap pemanasan global. Sekitar sebanyak 10% gas metana dilepaskan ke atmosfer setiap tahunnya akibat dari pemanasan global (Andraea, 1991). Hal ini juga didukung oleh penelitian mengenai kandungan zat yang terdapat dalam kabut asap hasil dari pembakaran gambut yang ada di Riau, bahwa  $\text{CO}_2$  memiliki rata-rata jumlah kandungan yang lebih tinggi yaitu sebesar 10.395 ppm, diikuti oleh  $\text{CO}$  (1.223 ppm) dan  $\text{CH}_4$  (273 ppm) (Saharjo B et al., 2010).

## 2.2. Tailing Bausit

Tailing merupakan salah satu jenis limbah hasil dari kegiatan tambang, yaitu sisa-sisa dari proses pemisahan material penting suatu bijih. Kehadiran limbah ini tidak dapat dihindari dalam dunia pertambangan. Namun, terkadang tailing dari suatu pertambangan masih mengandung mineral atau material yang dapat dimanfaatkan kembali (Riogilang, H. et al., 2009). Salah satunya yaitu pada tailing hasil pengolahan bauksit atau yang juga dapat disebut red mud. Tailing bauksit hasil pengolahan bijih bauksit yang berada di Pulau Bintan, Kepulauan Riau mengandung alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sekitar 49,41%, silika ( $\text{SiO}_2$ ) sekitar 12,58%, hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sekitar 10,06% dan beberapa oksida anorganik lainnya dalam jumlah yang kecil (S.I. Septiansyah et al., 2018).

Tabel 1. Komposisi tailing bauksit

Komposisi	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	Lainnya
	<sup>3</sup>	(%)	(%)	(%)	(%)
	(%)				
Tailing	49,4	12,58	10,06	1,10	26,85
Bauksit	1				

Dengan adanya beberapa kandungan mineral ini, tailing bauksit memiliki potensi untuk dapat dimanfaatkan kembali. Beberapa manfaat tailing bauksit di antaranya sebagai salah satu bahan untuk produksi semen dengan memanfaatkan kandungan

aluminium dan besi, untuk bahan konstruksi jalan, konstruksi bendungan, dan produksi batu bata. Di samping itu, kandungan alumina dan silika yang tinggi dari tailing bauksit ini dapat dimanfaatkan dalam pembuatan zeolit sintetis sebagai adsorben (S.I. Septiansyah et al., 2018).

## 2.3. Zeolit Sintesis

Di alam, zeolit adalah salah satu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Di samping itu, mineral zeolit juga merupakan endapan hasil dari aktivitas vulkanik yang kaya akan kandungan silika (Saputra, R., 2006). Mineral ini mengandung kristal zeolit aluminosilicate yang dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekul. Penggunaan mineral zeolit ini semakin meningkat di kalangan industri, baik industri kecil maupun industri besar.

Dewasa ini, zeolit sintetis atau zeolit buatan dikembangkan dengan tujuan khusus. Zeolit sintetis merupakan senyawa kimia yang mempunyai sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam yang dibuat melalui proses sintesis (Saputra, R., 2006). Terdapat beberapa jenis zeolit sintetis, di antaranya ialah zeolit 4A, 5A, 10X dan 13X yang memiliki fungsi dan volume rongga berbeda-beda. Zeolit dengan jenis 10X dan 13X dapat digunakan untuk mengadsorpsi adsorbat karena memiliki diameter pori yang lebih besar daripada zeolit jenis lain (Ginting, F.D., 2008).

## 2.4. Adsorben

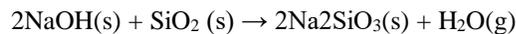
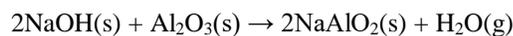
Adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, di mana adsorpsi berlangsung pada dinding-dinding pori atau pada daerah-daerah tertentu di dalam partikel adsorben. Pori-pori adsorben pada umumnya berukuran sangat kecil sehingga memiliki luas permukaan dalam yang beberapa kali lebih luas dari permukaan luarnya. Ketika suatu adsorben telah jenuh, adsorben tersebut masih dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi. Kualitas suatu adsorben dapat dilihat dari lamanya waktu adsorben tersebut beroperasi. Lama operasi adsorben itu sendiri dibagi menjadi dua, yaitu waktu penyerapan hingga komposisi diinginkan dan waktu regenerasi/pengeringan adsorben. Semakin cepat waktu dua variabel tersebut, maka semakin baik pula kerja dari adsorben (Jauhan et al, 2007).

$$\text{Adsorben (\%)} = \frac{[\text{CO}_2]\text{Waste} \times 100}{[\text{CO}_2]\text{Feed}} \quad (1)$$

$$\text{Specific absorption capacity} = \frac{\text{Weight of CO}_2 \text{ absorbed (kg)}}{\text{Weight of red mud (t)}} \quad (2)$$

## 2.5. Fusi Kaustik

Fusi kaustik merupakan suatu proses sintesis, yaitu proses untuk memperoleh senyawa baru melalui tahapan-tahapan pembentukan senyawa. Pada sintesis mineral zeolit, *tailing* bauksit diproses untuk menjadi zeolit menggunakan metode fusi kaustik menggunakan alkali untuk membentuk garam-garam alumina dan silikat. Berikut reaksi yang terjadi selama proses peleburan antara komponen SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan NaOH (Ojha, K. et al., 2004):



Hasil akhir dari proses fusi kaustik pada *tailing* bauksit ini akan menghasilkan filtrat berupa ekstrak fusi yang mengandung Si dan Al yang kemudian akan berperan sebagai gel awal (prekursor) pada proses selanjutnya dalam pembentukan zeolit sintetis (S.I. Septiansyah et al., 2018).

## 2.6. Periode Pengembalian (Return of Investment)

Periode pengembalian (*payback period*) menyatakan durasi yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi yang dikeluarkan. Dengan melihat periode pengembalian, pembuat keputusan dapat menilai apakah suatu proyek layak untuk diinvestasikan. Perhitungan periode pengembalian dijabarkan dalam Persamaan (3) sebagai berikut (dimodifikasi dari Noorozian dkk, 2017):

$$t_{PP} = t_K + \frac{FC}{(\text{Penjualan} - \text{OPEX}) \times (100\% - \text{pajak}\%)}$$

di mana,

$t_{PP}$  : periode pengembalian (tahun)

$t_K$  : durasi konstruksi (tahun)

FC : modal tetap (Rp)

Penjualan : pendapatan yang diperoleh dari penjualan (Rp/tahun)

OPEX : biaya operasional/*operational expenditure* (Rp/tahun)

Pajak : nilai pajak (%)

## 2.7. Metode Riset

Metode pengumpulan data yang digunakan menggunakan metode studi pustaka, yaitu penulisan berdasarkan sumber-sumber yang kemudian ditelaah, dikaji, dianalisis, diinterpretasikan dan dituangkan dalam bentuk tulisan. Adapun hasil atau data yang dihasilkan didapatkan dari hasil perhitungan secara teoritis, dan data sekunder yang diperoleh dari buku, skripsi, jurnal, artikel dan internet baik data kuantitatif maupun data kualitatif.

Metodologi penelitian ini adalah mencari penyebab permasalahan tinggi nya nilai emisi karbon di Indonesia, dan salah satu faktor tersebut adalah asap kebakaran hutan. Salah satu permasalahan kebakaran hutan yang sering kali terjadi adalah di daerah Riau. Kemudian, mencari penyebab permasalahan yang terjadi di Riau salah satunya adalah sebanyak 61.017 penduduk Riau terserang ISPA pada tahun 2019, kemudian setelah ditelaah didapatkan informasi bahwa Riau merupakan produksi bauksit terbesar di Indonesia, namun pemanfaatan limbah *tailing* bauksit ini masih belum dimaksimalkan, padahal limbah ini dapat dimanfaatkan kembali sebagai adsorben. Sehingga didapatkan inovasi berupa pengolahan asap kebakaran hutan dengan bahan baku *tailing* bauksit.

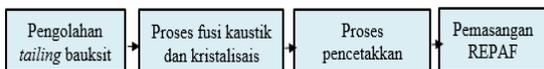
Penelitian dilakukan secara bertahap dan terpisah menjadi dua bagian, yaitu penelitian di proses pengolahan dan perancangan sistem REPAF. Pada proses pengolahan dilakukan pengkajian terkait komposisi bahan baku REPAF, waktu pemrosesan, suhu optimum, desain REPAF dan jenis material logam yang digunakan serta sumber energi yang digunakan. Pada proses perancangan pembuatan adsorben dari limbah *tailing* bauksit dan desain REPAF yang menyerupai bentuk panel *billboard* dilakukan pengkajian terkait mesin yang akan digunakan untuk menutup REPAF saat hujan sedang terjadi yaitu berupa pintu otomatis. Setelah keduanya telah selesai, dilakukan analisis ekonomi terkait besarnya biaya yang dikeluarkan dan hasil penjualan REPAF yang dihasilkan. Dilakukan analisis ekonomi

agar mengetahui *Return of Investment* dan keuntungan dari hasil penjualan dapat mensejahterakan masyarakat sekitar atau tidak serta bertujuan untuk melihat apakah mesin ini dapat diimplementasikan di berbagai daerah pada tahapan perkembangan lebih lanjut. Terakhir, kajian indikator SDGs pada implementasi inovasi juga ditinjau lebih. Poin-poin pada SDGs yang berkaitan, yaitu poin 3 (*Good Health and Well-Being*) dan 7 (*Affordable and Clean Energy*) adalah target tujuan yang diharapkan dapat tercapai melalui rumusan inovasi, sehingga bisa memberikan manfaat berkelanjutan yang juga menyentuh aspek keberlangsungan hidup di masyarakat.

### 3. Hasil dan Pembahasan

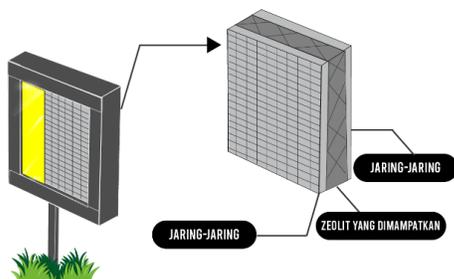
#### 3.1. Prosedur Pengolahan dan Desain Sistem REPAF

Proses pengolahan *tailing* bauksit menjadi REPAF dilakukan dengan berbagai tahapan yang dapat dilihat sesuai dengan diagram alir dan diagram proses dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pengolahan

Secara keseluruhan, rancangan desain mengimplementasikan bentuk panel *billboard* dan memiliki dimensi panjang 300 cm, lebar 300 cm, dan tinggi 300 cm. Rancangan desain REPAF dapat dilihat pada gambar berikut:



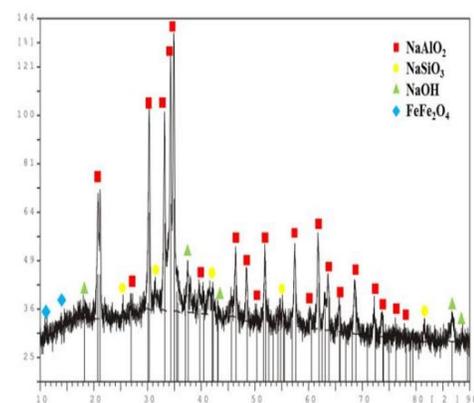
Gambar 2. Rancangan desain Red Mud Panel Air Purifier (REPAF)

Komponen pada REPAF terdiri dari beberapa bagian: 1) tempat menaruh zeolit yang sudah di mampatkan dari hasil proses kristalisasi, 2) jaring-

jaring, dan 3) tiang dari alumunium berbentuk seperti panel *billboard*. Pada bagian tempat zeolit yang berbentuk persegi empat, diletakkan *tailing* bauksit yang sudah diolah menjadi zeolit sebagai adsorben di tengah dengan berat *tailing* bauksit sebagai zeolit untuk sekali pasang sekitar 12 kg. Kemudian zeolit dilapisi dengan jaring yang mencegah benda berukuran besar masuk ke sistem REPAF. Rangka tiang REPAF terbuat dari rangka alumunium dengan panjang 100 cm. Proses manufaktur dimulai dengan menggabungkan zeolit ke dalam alat seperti wadah yang disebut REPAF. Kemudian, sistem REPAF memiliki pintu penutup otomatis (*slidding door*) yang berfungsi sebagai penutup jika sedang terjadi hujan, sehingga tidak memengaruhi kondisi zeolit. Pintu penutup otomatis ini menggunakan *remote* yang di simpan oleh warga sekitar, sehingga ketika salah satu warga menekan tombol *remote*, maka otomatis REPAF akan tertutup oleh penghalang hujan yaitu berupa pintu.

#### 3.2. Fusi Alkali dan Kristalisasi Zeolit Adsorben

Pada proses fusi kaustik terdapat 3 komponen penting yaitu temperatur saat fusi, waktu fusi, dan rasio antara massa *tailing* bauksit/NaOH yang sangat berpengaruh terhadap kelarutan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> agar menjadi fase mineral dalam air yaitu natrium silikat dan natrium aluminat dan silikat alumino amorf (Septiansyah dkk, 2018).



Gambar 3. XRD hasil reaksi fusi kaustik

Hasil fusi kaustik yang bereaksi dengan NaOH terbentuk seperti endapan pejal yang akan menutupi permukaan mineral. Endapan seperti kerak ini akan menyebabkan permukaan mineral tersebut menjadi kasar. Selanjutnya, pada proses kristalisasi

menggunakan metode hidrotermal pada temperatur rendah yaitu 90-120 °C selama 2, 6, dan 12 jam waktu inkubasi. Formulasi rasio molar dapat dilihat pada Tabel 2, sementara komposisi produknya dapat dilihat pada Tabel 3.

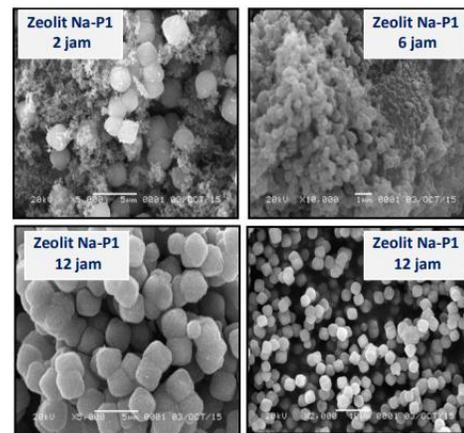
Tabel 2. Rasio molar Zeolit Adsorben

Kompo- sisi	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)
Molar	0,5	0,5	10,0	12
MW (g/mol)	102	60	18	62
W (g)	51	30	180	74

Tabel 3. Komposisi Zeolit Adsorben

Material	$\rho$ (g/ml)	Purity (%)	MW (g/mol)	Massa (g)	Volu- me (ml)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (fusi)	-	51,22	102,00	-	-
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1,35	100,00	122,00	54,10	40,10
H <sub>2</sub> O	-	-	18	180	180

Proses sintesis dimulai dengan menuangkan larutan ekstrak ke dalam botol berukuran besar. Natrium silika kemudian diteteskan perlahan-lahan sehingga membentuk semi gel. Kemudian larutan diaduk dan diendapkan maka sehingga didapatkan endapan kristal. Endapan kristal dimasukkan dalam oven dan menghasilkan padatan yang mengering kemudian digerus hingga halus, pembentukan struktur kristal yang terbentuk adalah fasa zeolit Na-P1 dengan tingkat kemurnian yang tinggi >90% (% kristalinitas) serta memiliki luas permukaan 8,996 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori rata-rata 16,122 nm dan morfologi kristal berbentuk kubik (Septiansyah dkk, 2018).



Gambar 4. Kristalisasi Zeolit Adsorben

### 3.3. Mekanisme Kerja

Setiap produksi digunakan tailing bauksit dengan massa total limbah sebesar 200 kg, %w/w sebesar 70%, serta massa limbah 140 kg dengan asumsi setiap REPAF kurang lebih terdapat 12 kg tailing bauksit yang sudah menjadi adsorben.

Proses REPAF ini terjadi setelah adsorben dipasang, kandungan CO<sub>2</sub> di udara akan terserap oleh alat ini dengan zeolit sebagai adsorbennya. Gas CO<sub>2</sub> akan melewati jaring-jaring, kemudian diserap oleh zeolit yang dipampatkan. Zeolit hasil proses lanjutan dari tailing bauksit ini disebut dengan zeolit X. Zeolit X ini nantinya akan mengadsorpsi CO<sub>2</sub> di udara dengan kapasitas maksimum 6,4 mmol/g pada suhu 298 K dan tekanan hingga 101,325 KPa. Karbon dioksida memiliki daya tarik yang kuat terhadap medan elektrostatis situs kationik, karena memiliki quadrupole permanen, yang berinteraksi dengan kation kompensasi muatan struktur mikro di rongga zeolit X. Suhu dan tekanan merupakan parameter penting yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> dari zeolit X, yang menunjukkan kapasitas adsorpsi yang tinggi pada suhu yang lebih rendah. Dibandingkan dengan zeolit sintetis jenis lainnya, zeolit X ini memiliki kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena luas permukaan spesifik dan volume mikropori zeolit X yang disintesis dari tailing bauksit lebih kecil daripada jenis zeolit yang disintesis dari material lain seperti kaolin,

sehingga dapat menunjukkan bahwa luas permukaan spesifik dan ukuran pori mungkin menjadi faktor utama yang menyebabkan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> yang berbeda. Selain itu, kation dalam zeolit yang berperan sebagai pusat adsorpsi CO<sub>2</sub> juga mungkin menjadi alasan mengapa zeolit X yang disintesis dari tailing bauksit menunjukkan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> yang tinggi. Di samping itu, alat REPAF ini memiliki proteksi berupa sliding door ketika terjadi hujan sehingga zeolit yang dipampatkan tidak terkena air hujan. Sliding door dapat diaktifkan dengan menggunakan remote control. Dengan aktifnya sliding door ini, mekanisme penyerapan CO<sub>2</sub> pun terhenti.

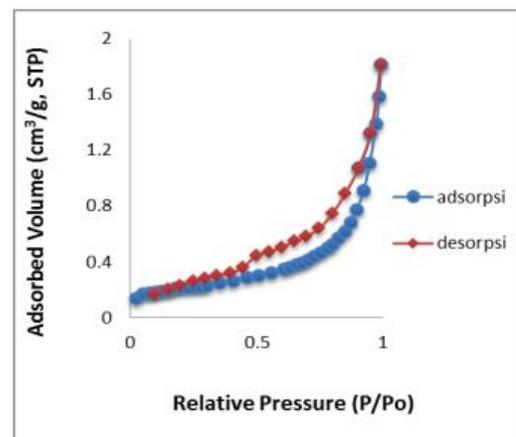
### 3.4. Konsumsi Energi dan Penyerapan Emisi Karbon

Pada Tabel 7 merupakan perbandingan energi yang dikonsumsi saat proses fusi kaustik dan kristalisasi pada pembuatan REPAF dengan asumsi pemanfaatan *tailing* bauksit 33,5%.

Tabel 4. Konsumsi Energi REPAF

Parameter	Konsumsi Energi	Satuan
Fusi Kaustik	$7.142 \times 10^5$	kJ
Kristalisasi Adsorben	$4.608 \times 10^4$	kJ

REPAF mampu menyerap gas CO<sub>2</sub> dengan kapasitas penyerapan mencapai 6.4 mmol/g zeolit, jika dibandingkan dengan zeolit berbahan baku alam aktif dengan kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> 1,165 mmol/g zeolit, REPAF memiliki efektivitas penyerapan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi. Gambar 5 merupakan grafik kurva isoterm adsorpsi-desorpsi.



Gambar 5. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi (Ferdiansyah dkk, 2018).

### 3.5. Peluang mendukung Zero Waste, Environmentally Friendly, dan Lapangan Pekerjaan

Fungsi sistem REPAF selain sebagai sarana pengolahan lingkungan udara, REPAF juga berpengaruh ke dalam dua aspek yaitu *zero waste* serta *environmentally friendly*. Penggunaan REPAF secara tepat dapat mengurangi limbah *tailing* bauksit, selain itu dapat mengurangi gas emisi karbon sehingga tidak ada kandungan yang berbahaya yang dapat dihasilkan oleh REPAF. Sehingga REPAF tergolong sebagai teknologi ramah lingkungan yang berfungsi untuk mengolah asap kebakaran hutan dan udara lingkungan sekitar. Selain itu, REPAF juga memiliki aspek yang dapat menunjang kesehatan warga setempat, berdasarkan latar belakang yang telah kami jelaskan sebanyak 6.1017 jiwa dari Riau mengalami gangguan pernafasan yaitu ISPA, oleh sebab itu, adanya REPAF menjadi salah satu upaya pencegahan penyakit tersebut. Teknologi REPAF juga dapat memberikan lapangan pekerjaan bagi masyarakat lingkungan sekitar, karena pembuatan serta REPAF ini tergolong *homemade* karena bahan dan pembuatan REPAF murah dan dapat dijumpai di pasaran.

### 3.6. Urgensi Penggunaan Red Panel Air Purifier (REPAF)

Penggunaan REPAF di lingkungan sekitar rumah warga dan hutan diperlukan adanya sarana antisipasi pengolah asap kebakaran hutan yang didukung oleh pemerintah. Di Indonesia sendiri khususnya, pemerintah masih mengabaikan kasus kebakaran

hutan yang kerap sering terjadi di Indonesia. Sebagai contoh, kebakaran hutan di Riau yang disebabkan oleh musim kemarau, kurangnya reaksi dari pemerintah dalam penanganan kasus ini, sehingga menyebabkan efek asap kebakaran hutan yang terjadi saat musim kemarau semakin meluas.

Disamping itu, di Indonesia sekitar 90% lebih mengandalkan pemadam kebakaran hutan serta hujan yang datang sewaktu-waktu sebagai solusi dari kebakaran hutan. Padahal, asap kebakaran hutan sendiri menyebar secara cepat dan meluas ke daerah rumah-rumah warga sekitar.

### 3.7. Analisis Sisi Ekonomi

Analisis ekonomi terdiri dari perhitungan biaya alat proses dan utilitas, Perhitungan biaya alat disesuaikan dengan asumsi bahwa tahap konstruksi REPAF direncanakan mulai pada tahun 2022. Harga setiap alat didapatkan dari referensi di pasar seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.

## 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yakni raancangan sistem REPAF terdiri dari tempat adsorben, jaring, dan tiang yang menyeruapai panel *billboard*. REPAF ini memiliki proteksi berupa *sliding door* ketika terjadi hujan sehingga zeolit yang dipampatkan tidak terkena air hujan. *Sliding door* dapat diaktifkan dengan menggunakan *remote control*. Dengan aktifnya *sliding door* ini, mekanisme penyerapan CO<sub>2</sub> pun terhenti. Sistem REPAF mampu menyerap gas CO<sub>2</sub> dengan kapasitas penyerapan mencapai 6.4 mmol/g zeolit, jika dibandingkan dengan zeolit berbahan baku alam aktif dengan kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> 1,165 mmol/g zeolit, REPAF memiliki efektivitas penyerapan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi. Konsumsi energi REPAF diperkirakan sekitar 7.142×10<sup>5</sup> kJ saat proses fusi kaustik serta 4.608×10<sup>4</sup> kJ saat proses kristalisasi dengan asumsi pemanfaatan *tailing* bauksit adalah 33.5%. Penerapan sistem REPAF terbukti layak secara ekonomi. Hal ini didasarkan pada hasil analisis keekonomian yang menunjukkan adanya *Return of Investment* dan keuntungan dari hasil penjualan dapat mensejahterakan masyarakat sekitar yaitu sekitar setahun setelah pemasangan REPAF.

## Daftar Pustaka

[1] Andreae M. O. (1991) Biomass burning: Its history, use, and distribution and impact on

environmental quality and global climate. In Levine JS (ed) *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications* pp 3–21 MIT Press Cambridge

- [2] Ginting, F., D. (2008). Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dua Adsorber dengan Menggunakan Metanol 1000 ml sebagai Refrigeran. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [3] Ojha, K., Pradhan, N. C., & Samanta, A. N. (2004). Zeolite from Fly Ash: Synthesis and Characterization. *Bulletin of Materials Science*, Vol. 27, No. 6, December 2004, pp. 555–564. DOI:10.1007/BF02707285
- [4] Meichelin, O. (2019). Pengawasan Dlh Terhadap Kegiatan Pertambangan Bauksit Sebagai Upaya Pengendalian Kerusakan Lingkungan Di Kabupaten Sanggau (Study Kasus Pt. Antam. Pengawasan Dlh Terhadap Kegiatan Pertambangan Bauksit Sebagai Upaya Pengendalian Kerusakan Lingkungan Di Kabupaten Sanggau (Study Kasus PT. Antam, (iii, 9), 1-9.
- [5] Milačić, R., Zuliani, T., & Ščančar, J. (2012). Environmental impact of toxic elements in red mud studied by fractionation and speciation procedures. *Science of The Total Environment*, 426, 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.080>
- [6] Mulyana, E. (2019). Bencana Kabut Asap Akibat Kebakaran Hutan dan Lahan Serta Pengaruhnya Terhadap Kualitas Udara Di Provinsi RIAU Februari – MARET 2014. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 16(3). <https://doi.org/10.29122/jsti.v16i3.3417>
- [7] Noroozian, A., Mohammadi, A., Bidi, M., & Ahmadi, M.H. (2017). Energy, Exergy, and Economic Analyses of a Novel System to Recover Waste Heat and Water in Steam Power Plants. *Energy Conversion and Management*, 144, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.067>
- [8] Ramdhani, E., & Permana, D. (2018). Potensi Pemanfaatan Red mud Pulau Bintan. *Jurnal Zarah*, 6(1), 1-5. doi: 10.31629/zarah.v6i1.325
- [9] Riogilang, H. & Masloman, H. (2009). Pemanfaatan Limbah Tambang Untuk Bahan Konstruksi Bangunan. *EKOTON* Vol. 9 No.1: 69-73, April 2009.

- [10] Saharjo, B. H., Nurhayati, A. D., Aryanti, E. (2013). Kandungan emisi gas rumah kaca pada kebakaran hutan rawa gambut di pelalawan Riau. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(2), 78–82.
- [11] Saputra, R., (2006), Pemanfaatan Zeolit Sintetis sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [12] Septiansyah, I., & Santi, M. (2018). Pemanfaatan Alumina Waste dari Tailing Bauksit Menjadi Zeolit Adsorben Utilization of Alumina Waste from Bauxite Tailing To Adsorbent Zeolite. *Eksplorium*, 39, 123–130. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2018.39.2.498>
- [13] Vayda, A. (2006). Causal Explanation of Indonesian Forest Fires: Concepts, Applications, and Research Priorities. *Human Ecology*, 34(5), 615-635. doi: 10.1007/s10745-006-9029-x
- [14] Weitkamp, J. & Puppel, L. (1999). Catalysis and Zeolites: Fundamentals and Applications. Germany: Springer. ISBN-13: 978-3540636502
- [15] Xu, R., Yu, P., Abramson, M., Johnston, F., Samet, J., & Bell, M. et al. (2020). Wildfires, Global Climate Change, and Human Health. *New England Journal Of Medicine*, 383(22), 2173-2181. doi: 10.1056/nejmsr2028985