

STUDI LITERATUR KEMAMPUAN DAN KARAKTERISASI ADSORBEN DARI LUMPUR LAPINDO

Ganang Setyo Nugroho, Muchammad Syafi' Arief, Bambang Widiono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
ganangnugroho1@gmail.com ; [widionomlg@gmail.com]

ABSTRAK

Kegiatan eksplorasi gas alam yang dilakukan oleh PT Lapindo Brantas menyebabkan semburan lumpur panas Lapindo sejak 29 Mei 2006 hingga saat ini masih menimbulkan beberapa permasalahan. Sehingga, diharapkan dengan adanya pemanfaatan lumpur Lapindo dapat mengurangi dampak negatif lumpur Lapindo terhadap lingkungan dan memberikan nilai tambah bagi lumpur Lapindo sendiri. Studi literatur ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dan karakteristik lumpur Lapindo jika digunakan sebagai adsorben. Berdasarkan hasil studi literatur disimpulkan bahwa lumpur Lapindo berpeluang dimanfaatkan sebagai adsorben karena didominasi kandungan SiO_2 sebesar 44,8%-53,4%, diikuti oleh Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 . Aktivasi kimia dan fisika dapat meningkatkan kemampuan lumpur Lapindo sebagai adsorben dengan adanya kenaikan rasio jumlah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari (2 – 3) : 1 menjadi (5 – 6) : 1. Serta hasil analisis BET menunjukkan adanya kenaikan luas area permukaan dari 37,289 m^2/g menuju 116,953 m^2/g , dan diameter pori dari 6,45 nm menuju 22,15 nm. Adsorben lumpur Lapindo memiliki kemampuan terbaik mengadsorpsi ion logam Ni sebesar 98,31%, zat warna reaktif sebesar 98,07%, serta menurunkan kadar COD dan BOD sebesar 98,04% dan 43,41%.

Kata kunci: adsorpsi, aktivasi, fisika, kimia, lumpur Lapindo.

ABSTRACT

Natural gas exploration activities carried out by PT Lapindo Brantas caused the Lapindo hot mudflow since May 29, 2006 to still cause several problems. So, it is hoped that the utilization of Lapindo mud can reduce the negative impact of Lapindo mud on the environment and provide added value for Lapindo mud itself. This literature study was conducted to determine the ability and characteristics of Lapindo mud when used as an adsorbent. Based on the results of the literature study, it was concluded that Lapindo mud has the potential to be used as an adsorbent because it is dominated by SiO_2 content of 44.8%-53.4%, followed by Fe_2O_3 , and Al_2O_3 . Chemical and physical activation can increase the ability of Lapindo mud as an adsorbent by increasing the ratio of the amount of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ from (2-3) : 1 to (5-6) : 1. And the results of BET analysis show an increase in surface area from 37,289 m^2/g to 116.953 m^2/g , and the pore diameter from 6.45 nm to 22.15 nm. Lapindo mud adsorbent has the best ability to adsorb Ni metal ions by 98.31%, reactive dyes by 98.07%, and reduce COD and BOD levels by 98.04% and 43.41%, respectively.

Keywords: adsorption, characterization, chemical activation, Lapindo mud, physical activation

1. PENDAHULUAN

Kegiatan pelaksanaan pengeboran gas alam yang dilakukan oleh PT Lapindo Brantas di Kelurahan Siring, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur pada 29 Mei 2006 telah menyebabkan semburan lumpur panas dengan debit sebesar 5.000 – 50.000 m^3/hari . Bencana ini pun mengakibatkan kerugian besar, terutama bagi warga Porong, Sidoarjo [1].

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak bencana yang ditimbulkan ialah dengan memanfaatkannya. Berdasarkan hasil penelitian Yuliyanti (2012), komposisi lumpur Lapindo terdiri dari material lempung, lanau, dan sisipan pasir. Hasil analisis keseragaman butir menunjukkan bahwa komponen terbesarnya adalah lempung (81,5%). Lempung dengan mineral utama *montmorillonite*, *kaolinite*, *illite*, *chlorite*, *glauconite*, *feldspar*, kuarsa, kalsedon, opal, mika, besi oksida, dan campuran komposit mineral *amorf* [2]. Hasil penelitian Anggraini (2015) juga menunjukkan bahwa kandungan silika pada lumpur Lapindo mencapai 53,4 % [3]. Lumpur Lapindo mengandung senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 yang menyerupai komponen utama pada zeolit [4].

Karakterisasi sifat fisis Lumpur panas Sidoarjo dengan Aktivasi Kimia dan Fisika menunjukkan suhu kalsinasi optimum yang mampu dicapai pada kondisi basa adalah 200 °C sedangkan pada kondisi asam adalah 800°C [5]. Aktivasi mengakibatkan perubahan struktur dari lumpur Lapindo yang terlihat pada penambahan luas area permukaan dan diameter pori lumpur Lapindo, dan perubahan kandungan mineral, senyawa dan ikatan pada lumpur Lapindo [5].

Berdasarkan hasil penelitian Astuti, dkk. (2020) menunjukkan bahwa lumpur Lapindo berpeluang besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan alternatif untuk pembuatan adsorben. Hal ini berdasarkan analisis luas permukaan dan diameter pori pada lumpur Lapindo, didapatkan bahwa lumpur Lapindo memiliki diameter pori sebesar 5,67573 nm [7]. Lumpur Lapindo sudah memenuhi standar sebagai adsorben komersial, sesuai dengan klasifikasi pori menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), lumpur Lapindo termasuk ke dalam adsorben dengan pori berdiameter sedang (*mesopores* $2 < d < 50$ nm).

Oleh karena itu, mengacu pada beberapa penelitian di atas, studi literatur ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi berbagai zat oleh adsorben lumpur Lapindo dari berbagai penelitian telah dilakukan, dan untuk mengetahui karakterisasi lumpur Lapindo yang telah teraktivasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Artikel ini disusun menggunakan metode studi literatur dengan mengumpulkan beberapa teori dan data. Data diambil dari beberapa sumber, berupa jurnal sepuluh tahun terakhir yang kemudian dikaji secara deskriptif kualitatif. Pengkajian difokuskan pada karakterisasi mineral lumpur Lapindo baik sebelum dan setelah dilakukan aktivasi, dan membandingkan performa adsorpsi suatu zat oleh adsorben dari lumpur Lapindo.

Data-data tersebut disimpulkan untuk mengetahui pengaruh aktivasi terhadap karakteristik mineral lumpur Lapindo dan kemampuan lumpur Lapindo sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion logam, zat warna, dan penurunan kadar COD BOD.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ini akan mengkaji hasil karakterisasi lumpur Lapindo teraktivasi dan yang belum teraktivasi. Karakteristik dilakukan dengan melakukan analisis SEM, BET, XRD dan kadar senyawa pada adsorben lumpur Lapindo. Dilakukan juga kajian mengenai penggunaan adsorben lumpur Lapindo untuk mengadsorpsi beberapa ion logam, zat warna dan dalam penurunan kadar COD BOD.

3.1. Karakterisasi lumpur Lapindo

Proses aktivasi adsorben merupakan tahapan yang perlu diperhatikan selain pemilihan bahan baku yang digunakan. Aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap adsorben yang bertujuan untuk memperbesar diameter pori, luas permukaan dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Dalam proses pembuatan adsorben lumpur Lapindo metode aktivasi fisika dilakukan dengan kalsinasi pada suhu 200 – 1000 °C [3,5,6,9]. Sedangkan aktivasi kimia dilakukan dengan perendaman adsorben dalam larutan asam HCL dan H₂SO₄ atau larutan basa NaOH [5,6,7,9,13,16].

Hasil analisis elektron sekunder SEM yang dilakukan oleh Mustopa (2013) untuk lumpur Lapindo sebelum dan sesudah aktivasi menghasilkan partikel lumpur Lapindo dengan ukuran dan bentuk yang tidak beraturan [5]. Sebagian besar dari partikel-partikel kecil tersebut menggumpal (beraglomerasi) membentuk partikel yang besar dengan ukuran yang berbeda-beda. Hasil SEM oleh A. Jalil (2010) dan Arista (2011) juga menunjukkan partikel-partikel yang menggumpal. Penggumpalan yang terjadi disebabkan sifat kohesif antara partikel yang dimiliki oleh lumpur Lapindo [3,6].

Kondisi aktivasi asam atau basa tampak tidak mempengaruhi perubahan morfologi lumpur. Peningkatan suhu kalsinasi menyebabkan perubahan morfologi dari partikel lumpur Lapindo yang dihasilkan. Semakin tinggi suhu kalsinasi yang digunakan menghasilkan lumpur Lapindo dengan distribusi ukuran partikel yang lebih homogen [5,6].

Hasil analisis EDX lumpur tidak teraktivasi yang dilakukan oleh Mustopa (2013) menunjukkan bahwa unsur terbanyak adalah O, Si dan Al sebesar 41,81%, 29,56%, dan 15,21%. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur didominasi oleh senyawa alumina (Al₂O₃) dan silika (SiO₂). Hasil analisis XRF menunjukkan lumpur Lapindo didominasi oleh SiO₂ sebesar 44,8 – 53,4%, Fe₂O₃ sebesar 23,6 – 30,2%, dan Al₂O₃ 14 – 23,8%. Peningkatan suhu kalsinasi terlihat mempengaruhi komposisi kandungan lumpur Lapindo, di mana pada penelitian Mustopa (2013) adanya peningkatan kadar Fe₂O₃ menjadi 43,27% [3,5,6].

Hasil analisis BET oleh Mustopa (2013) menunjukkan bahwa luas area permukaan lumpur pada kondisi asam cenderung meningkat dari 37,289 m²/g menuju 116,953 m²/g. Namun pada kondisi basa perubahan area permukaan yang terjadi kurang signifikan. Suhu kalsinasi di atas 600 °C adanya penurunan area permukaan mencapai 1,365 m²/g pada suhu kalsinasi 1000 °C. Pengaruh suhu kalsinasi terhadap ukuran diameter pori tidak signifikan perubahan hanya berkisar 3,7 – 3,9 nm [5]. Suhu kalsinasi terlalu tinggi akan menyebabkan struktur dari adsorben rusak, yang mengakibatkan penurunan dari area permukaan dan diameter porinya. Namun pada penelitian Talib (2016) dengan aktivasi pada suhu 350 °C diameter pori lumpur Lapindo mengalami kenaikan dari 6,45 nm menjadi 22,15 nm [11].

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa mayoritas mineral berfase *amorf* serta fase kristal yang didominasi kuarsa diikuti jenis *mite*, *nacrite*, *chlorite serpentine*, *albite low* sebagai pengotor [3,5,6,9]. Hasil analisis XRD oleh Mustopa (2013) dengan kalsinasi tampak adanya perubahan jika dibandingkan dengan hasil XRD dari lumpur yang belum diaktivasi [5]. Di mana terjadi pergeseran puncak akibat pemanasan. Pergeseran tersebut terjadi pada beberapa puncak yaitu tampak pada rentang 26,4 - 26,8° mengalami

pergeseran, pada rentang 35 - 37,5^o menunjukkan terjadinya penghilangan puncak, dan pada rentang 27,5 - 30^o menunjukkan kenaikan puncak hal ini diakibatkan terjadinya reaksi kimia yaitu:

- a. Kaolin pada suhu 500 °C – 600 °C mengalami reaksi endotermis dengan hilangnya air kimia membentuk meta kaolin.
- b. Kuarsa pada suhu sekitar 565 °C mengalami reaksi endotermis ditandai dengan perubahan fase dari alfa menjadi beta.
- c. *Montmorillonite* pada suhu 100 °C – 250 °C mengalami reaksi endotermis di mana terjadi penguapan air pada pori-pori, sedangkan pada suhu 600 °C – 700 °C mengalami reaksi endotermis penguapan air kimia.

Penelitian Mustopa (2013) menunjukkan hasil analisis *Rietveld*. fase mineral *illite* dan kuarsa pada kondisi asam adanya kecenderungan pengurangan jumlah fase *illite*, sedangkan pada kondisi basa fase *illite* dan kuarsa cenderung bertambah. Kelompok *montmorillonite* paling banyak menarik perhatian karena *montmorillonite* memiliki kapasitas penukar ion yang tinggi dan dapat mengembang bila berada dalam air atau larutan organik sehingga kapasitas untuk menyerap kation pada permukaannya menjadi lebih besar [5,12].

Aktivasi kimia dengan H₂SO₄ dapat mempengaruhi kadar SiO₂ dan Al₂O₃ dalam adsorben lumpur Lapindo. Hasil penelitian Astuti, dkk. (2020) menunjukkan semakin besar konsentrasi asam sulfat yang dipergunakan sebagai aktivator, mengakibatkan kadar silika pada lumpur Lapindo mengalami kenaikan dari 55% menjadi 85% [7]. Pada penelitian Fanani (2019) di mana dilakukan ekstraksi SiO₂ lumpur Lapindo menggunakan metode kopresipitasi dengan NaOH 7M juga dapat meningkatkan konsentrasi SiO₂ dari 50% menjadi 78,6% [17].

Menurut Vogel (1985), silika tidak reaktif terhadap asam, kecuali terhadap asam fosfat dan asam fluorida [8]. Astuti, dkk. (2020) menjelaskan bahwa pemilihan asam sulfat dilakukan untuk menghasilkan kadar silika yang tinggi, pelarutan sampel dalam asam sulfat dapat memisahkan silika dari unsur pengganggu seperti Ca, Fe dan Al yang akan bereaksi dengan asam sulfat [7].

Penelitian Astuti, dkk. (2020) menunjukkan peningkatan konsentrasi asam sulfat dapat menurunkan kadar Al₂O₃ dari 16% menjadi 11% pada lumpur Lapindo [7]. Berdasarkan Ketaren (1985), alumina (Al₂O₃) adalah senyawa yang dapat bereaksi dengan asam. Semakin tinggi konsentrasi larutan asam, semakin banyak logam terlarut. Banyaknya ion H⁺ dari larutan asam yang terdifusi, sehingga aluminium dan SO₄²⁻ membentuk larutan Al₂(SO₄)₃ [10].

Peningkatan konsentrasi asam sulfat mengakibatkan semakin banyak Al₂O₃ yang terlarut. Sehingga menaikkan rasio perbandingan jumlah SiO₂ terhadap Al₂O₃ dari (2 – 3) : 1 menjadi (5 – 6) : 1. Menurut Ketaren (1985), *bleaching earth* atau sering juga disebut dengan bentonit merupakan sejenis tanah liat dengan komposisi utama yang terdiri dari SiO₂, Al₂O₃, ion Ca²⁺, magnesium oksida dan besi oksida. Daya serap bentonit bergantung pada perbandingan Al₂O₃ dan SiO₂ [10]. Bentonit komersial umumnya memiliki perbandingan silika dan alumina berkisar antara 4 – 5. Sehingga lumpur Lapindo teraktivasi asam sulfat dengan rasio SiO₂ : Al₂O₃ = (5 – 6) : 1 telah sesuai dengan standar

adsorben yang ada di pasaran. Menurut Astuti, dkk. (2020) adsorben dari lumpur Lapindo termasuk ke dalam adsorben Ca-Bentonit [7].

3.2. Kemampuan adsorben dari lumpur Lapindo dalam menyerap ion logam, zat warna, COD, dan BOD

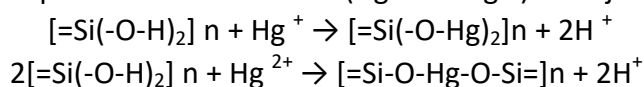
Tabel 3 menunjukkan kemampuan adsorben lumpur Lapindo untuk mengadsorpsi ion-ion logam, terlihat bahwa adsorben lumpur Lapindo menghasilkan persentase adsorpsi yang baik dalam mengadsorpsi ion-ion logam. Adsorben lumpur Lapindo memiliki kemampuan mengadsorpsi paling baik untuk adsorpsi ion Ni diikuti oleh ion Cr, Hg dan Cr^{6+} . Namun untuk adsorpsi ion Cd^{2+} masih rendah.

Hasil analisis XRF menunjukkan lumpur Lapindo didominasi oleh senyawa SiO_2 (44,8-53,4%) sehingga lumpur Lapindo banyak terkandung senyawa polisilik. Senyawa polisilik dalam lumpur bereaksi dengan HCl akan mengaktifkan gugus yang menghasilkan polisilanol $[\text{Si}(\text{-O-H})_2]_n$. Senyawa polisilanol merupakan senyawa yang memiliki gugus silanol. Gugus silanol merupakan gugus aktif yang dapat berfungsi sebagai pengikat ion-ion logam berat seperti unsur ion merkuri (Hg^+ dan Hg^{2+}) [13]. Senyawa ini akan bereaksi dengan ion logam membentuk kompleks yang stabil. Ion Hg^+ bereaksi dengan gugus silanol menghasilkan kompleks $[\text{Si}(\text{-O-Hg})_2]_n$, sedangkan ion Hg^{2+} bereaksi dengan gugus silanol menghasilkan kompleks $[\text{Si-O-Hg-O-Si}]_n$ [13].

Tabel 1 Persentase adsorpsi ion logam oleh adsorben lumpur Lapindo

Adsorbat	Persentase Adsorpsi	Sumber
Cr	97%	[14]
Cr^{6+}	Batch : 94,38% Kontinyu : 92,69%	[15]
Cd^{2+}	Batch : 56,72% Kontinyu : 63,43%	[15]
Hg	96,06 %.	[13]
Ni	98,31%	[16]

Persamaan ion polisilanol dan merkuri (Hg^+ dan Hg^{2+}) ditunjukkan di bawah ini:



Jenis ikatan yang terjadi antar atom dalam kompleks ini adalah ikatan kovalen. Ikatan kovalen termasuk dalam ikatan yang sangat kuat. Hal ini menyebabkan senyawa kompleks menjadi stabil dan sulit terionisasi ulang, sehingga ion logam berat akan teradsorpsi dengan sempurna.

Berdasarkan Tabel 4 adsorben lumpur Lapindo juga memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi beberapa zat warna. Zat warna metil jingga dan *Procion Red* MX-5B termasuk zat warna anionik, yang memiliki sisi aktif bermuatan negatif ($-\text{SiO}_3^-$). Gugus silanol pada pH rendah akan terprotonasi menjadi $\text{Si}-\text{OH}_2^+$ dan mengakibatkan terjadinya daya tarik elektrostatis antara $-\text{OH}_2^+$ silanol dengan gugus aktif zat warna yang negatif ($-\text{SiO}_3^-$). Pada lumpur Lapindo, Al_2O_3 (oksida amfoter) dalam larutan asam kuat akan menghasilkan asam ion Al^{3+} yang kemudian akan terikat dengan gugus aktif zat warna yang negatif ($-\text{SiO}_3^-$) [17-19].

Tabel 2 Persentase adsorpsi zat warna oleh adsorben lumpur Lapindo

Adsorbat	Persentase Adsorpsi	Sumber
Metil Jingga	81,39%	[17]
Zat Warna <i>Procion Red</i> MX-5B	96,5%	[18]
Zat Warna Reaktif	Batch : 98,07%	[19]
	Kontinyu : 95,54%	

Penurunan COD dan BOD dengan adsorben lumpur Lapindo berkaitan dengan terjadinya ikatan kimia antara gugus aktif pada bahan organik dengan padatan melalui interaksi asam-basa Lewis yang menghasilkan kompleks pada permukaan padatan. Interaksi ini terjadi karena pasangan elektron pada gugus aktif bahan organik menempati orbital *d* kosong pada Al^{3+} dalam zeolit [20].

Tabel 3 Persentase adsorpsi COD dan BOD oleh adsorben lumpur Lapindo

Adsorbat	Persentase Adsorpsi	Sumber
BOD	43,41%	[4]
COD	98,04%	[4]

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa aktivasi fisika dan kimia adsorben lumpur Lapindo berpengaruh terhadap morfologi, ukuran pori, luas permukaan, dan kandungan senyawa pada adsorben. Aktivasi fisika dengan kalsinasi mengakibatkan morfologi partikel adsorben yang menjadi lebih homogen. Proses aktivasi mengakibatkan penambahan luas area permukaan lumpur Lapindo dari 37,289 m^2/g menjadi 116,953 m^2/g , dan diameter pori dari 6,45 nm menjadi 22,15 nm. Aktivasi fisika mengakibatkan pengurangan kadar SiO_2 dari 44,8% menjadi 30% dan penambahan kadar Fe_2O_3 dari 0,2% menjadi 43,27%. Aktivasi kimia menyebabkan kenaikan rasio jumlah SiO_2/Al_2O_3 dari (2 – 3) : 1 menjadi (5 – 6) : 1. Proses aktivasi tampak mengakibatkan pergeseran puncak, penghilangan puncak dan kenaikan puncak pada pola spektrum XRD. Hasil analisis FTIR menunjukkan terdapat 5 jenis puncak, terlihat juga bahwa seluruh puncak yang muncul mengalami penurunan terhadap peningkatan suhu kalsinasi.

Adsorben lumpur Lapindo memiliki kemampuan terbaik dalam proses adsorpsi ion logam Ni, dengan penurunan sebesar 98,31%. Selain untuk mengadsorpsi ion logam Ni, adsorben lumpur Lapindo memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi ion logam lain, untuk Cr sebesar 97%, Cr^{6+} sebesar 94,38%, Cd^{2+} sebesar 56,72%, Hg sebesar 96,06%. Adsorben lumpur Lapindo dapat menurunkan kadar COD sebesar 98,04% dan menurunkan kadar BOD sebesar 43,41%. Adsorben lumpur Lapindo memiliki kemampuan terbaik dalam mengadsorpsi zat warna reaktif sebesar 98,07%. Adsorben lumpur Lapindo juga dapat mengadsorpsi metil jingga sebesar 81,39% dan untuk zat warna *Procion Red* MX-5B sebesar 98,07%.

Untuk studi literatur yang akan dilakukan ke depan mengenai adsorben lumpur Lapindo perlu adanya pengkajian mengenai penggunaan metode regenerasi adsorben lumpur Lapindo untuk mengetahui kemampuan dan potensi adsorben lumpur Lapindo dalam penggunaan berulang.

REFERENSI

- [1] K. Wijaya, E. Sugiharto, M. Mudasir, I. Tahir, dan I. Liawati, "Synthesis Of Iron Oxide-Montmorillonite Composite And Study Of Its Structural Stability Againsts Sulfuric Acid," *Indonesian Journal of Chemistry*, vol. 4, no. 1, pp. 33–42, 2010.
- [2] A. Yuliyanti, D. Sarah, dan E. Soebowo, "Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah Di Daerah Semarang," *Riset Geologi dan Pertambangan*, vol. 22, no. 2, pp. 91–103, 2012.
- [3] A. A. Jalil, S. Triwahyono, A. H. Adam, dkk., "Adsorption of methyl orange from aqueous solution onto calcined Lapindo volcanic mud," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 181, no. 1–3, pp. 755–762, 2010.
- [4] R. P. Anggraini, M. F. Kamal, M. B. M. Firjoun, R. N. Sholikhah, S. Q. Z. Nisa, dan N. I. Oktavetri, "Uji Efektivitas Lumpur Lapindo Dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Biological Oxygen Demand (BOD) Pada Limbah Cair Industri Batik Di Kabupaten Sidoarjo," *Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XII – ITS*, 2015
- [5] R. S. Mustopa dan D. D. Risanti, "Karakterisasi sifat fisis lumpur panas Sidoarjo dengan aktivasi kimia dan fisika," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 2, no. 2, pp. F256–F261, 2013.
- [6] F. Arista, A. Budiono, dan D. D. Risanti, "Pembuatan dan karakterisasi adsorben dari lumpur Lapindo untuk pemurnian ethanol," *Tugas Akhir. Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2011.
- [7] D. H. Astuti, A. K. N. Fadilla, dan Y. I. Mahendra, "Kajian Kualitas Komposisi Adsorben Berbahan Baku Lumpur Panas Sidoarjo," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 14, no. 2, pp. 80–85, 2020.
- [8] G. Svehla, "Vogel Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro," *Edisi Kelima. Jakarta: Penerbit Kalman Media Pustaka*, 1985.
- [9] I. F. Ulfindrayani, N. Fanani, Q. A'yuni, N. Ikhlas, B. L. Gaol, dan D. Lestari, "Pengaruh Perbedaan Preparasi Lumpur Lapindo terhadap Kandungan Senyawanya," *e-Prosiding SNasTekS*, vol. 1, no. 1, pp. 235–240, 2019.
- [10] S. Ketaren, "Pengantar teknologi minyak atsiri," *Balai Pustaka, Jakarta*, vol. 19, no. 21, pp. 38–42, 1985.
- [11] N. B. Talib, S. Triwahyono, A. A. Jalil, dkk., "Utilization of a cost effective Lapindo mud catalyst derived from eruption waste for transesterification of waste oils," *Energy Conversion and Management*, vol. 108, pp. 411–421, 2016.
- [12] M. Ogawa, "Preparation of Clay-Organic Intercalation Compound by Solid- solid Reaction and their Application to Photo-functional Material.," *Shinjuku*, 1992.
- [13] S. Trimayanto, R. Kurnianingsih, A. T. Widyawati, dan L. R. Hertiwi, "Handling Mercury (Hg) Waste through Utilization of Lapindo Activated Mud HCl to Realize Environmentally Friendly Gold Mining," *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Pilsen, Czech Republic*, , pp. 1706–1714, 2019.
- [14] N. Prahesta dan S. Hadianoro, "Analisis Daya Serap Lumpur Lapindo Terhadap Logam Krom dengan Menggunakan AAS," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 5, no. 2, pp. 228–232, 2019.

- [15] A. Mufti, "Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo Sebagai Adsorben Zat Warna Tekstil Jenis Reaktif Dan Ion-Ion Logam (Cr^{6+} Dan Cd^{2+})," *Laporan Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro*, Semarang, 2005.
- [16] K. Sa'diyah, M. Syarwani, dan S. Hadianoro, "Adsorption of Nickel in Nickel Sulphate Solution (NiSO_4) by Lapindo Mud," *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 6, no. 1, pp. 39–44, 2017.
- [17] I. F. Ulfindrayani, N. Ikhlas, Q. A'yuni, N. Fanani, B. L. Gaol, dan D. Lestari, "Pengaruh Ekstraksi SiO_2 dari Lumpur Lapindo Terhadap Daya Adsorpsinya pada Larutan Metil Orange," *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, vol. 2, no. 2, pp. 50–55, 2019.
- [18] Indrastuti, "Studi Pendahuluan Lumpur Sidoarjo Sebagai Adsorben Limbah Zat Warna Tekstil (Reaktif : Procion Red Mx-5b)," *Laporan Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro* , Semarang, 2007.
- [19] B. Zaman dan H. S. Huboyo, "Pemanfaatan Lumpur Panas Sidoarjo sebagai Adsorben Limbah Zat Warna Tekstil Jenis Reaktif," *Jurnal Kimia Lingkungan*, vol. 10, 2009.
- [20] R. Wahistina dan R. S. Pujiati, "Analisis Perbedaan Penurunan Kadar BOD Dan COD pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Zeolit," *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa*, 2013.