

Pengembangan Biocomposites Silika Amorf (SiO_2) Termodifikasi Na-Alginat menggunakan *Crosslinker* Kalsium Klorida (CaCl_2)

Luth Hammam Abdullah Syai'im¹, Yeni Ria Wulandari^{2*}

¹ Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung

² Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung

hammamabdullah123@gmail.com, yeniriawulandari@polinela.ac.id

*corresponding author

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 15 Oktober 2025
Direvisi 5 November 2025
Diterbitkan 30 Januari 2026

Kata kunci:

**Silika Amorf, Alginat,
Beads, Biokomposit,
Metilen biru**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi beads Alginat Silika Amorf yang di-*crosslink* menggunakan CaCl_2 , dengan memvariasikan rasio alginat dan silika (1:1,5; 1:2; dan 1:2,5), serta mengevaluasi pengaruh penambahan 2 gram CaCO_3 sebagai porogen terhadap efektifitas beads Alginat Silika Amorf dalam mendegradasi warna *methylene blue*. Penggunaan Na-Alginat didasarkan pada sifatnya sebagai biopolimer ramah lingkungan yang memiliki gugus fungsi aktif melimpah untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Penambahan CaCl_2 berfungsi sebagai agen pengikat silang (*cross-linking agent*) yang krusial untuk menciptakan struktur jaringan gel yang kokoh melalui mekanisme gelasi ionik antara ion Ca^{2+} dan matriks alginat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rasio silika berkorelasi positif terhadap karakteristik fisik dan performa adsorpsi *beads*. Kondisi optimum ditemukan pada sampel ASA-3 (rasio 1:2,5) yang memiliki nilai porositas sebesar 81,1% dan kemampuan *swelling* mencapai 46,3%. Pada pengujian degradasi warna, beads Alginat Silika Amorf-3 menunjukkan efektivitas tertinggi dengan kapasitas penyerapan *methylene blue* mencapai 84,14%. Temuan penting dalam penelitian ini adalah bahwa integrasi silika amorf dan penggunaan CaCO_3 sebagai porogen secara signifikan meningkatkan luas permukaan dan porositas material, yang memfasilitasi ekspansi matriks polimerik untuk menangkap polutan secara lebih optimal. Hal ini mengukuhkan potensi biokomposit Alginat Silika Amorf sebagai adsorben yang efisien dan sepenuhnya biodegradable untuk remediasi limbah industri.

Development of Amorphous Silica (SiO_2) Biocomposites Modified with Sodium Alginate Using Calcium Chloride (CaCl_2) as a Crosslinker

ARTICLE INFO

Received October 15, 2025
Revised November 5, 2025
Published January 30, 2025

Keyword:

**Amorphous, Silica, Alginate,
Beads, Biocomposites,
Methylene blue**

ABSTRACT

This study aims to characterize Amorphous Silica-Alginate (ASA) beads cross-linked with CaCl_2 , by varying the alginate-to-silica ratios (1:1.5, 1:2, and 1:2.5) and evaluating the effect of adding 2 grams of CaCO_3 as a porogen on the effectiveness of the beads in degrading methylene blue dye. The use of Na-Alginate is based on its properties as an eco-friendly biopolymer with abundant active functional groups to enhance adsorption capacity. The addition of CaCl_2 serves as a crucial cross-linking agent to create a robust gel network structure through an ionic gelation mechanism between Ca^{2+} ions and the alginate matrix. The results indicate that an increased silica ratio correlates positively with the

physical characteristics and adsorption performance of the beads. The optimum condition was found in the ASA-3 sample (1:2.5 ratio), which exhibited a porosity of 81.1% and a swelling capacity of 46.3%. In color degradation testing, the Amorphous Silica-Alginate-3 beads showed the highest effectiveness, with a methylene blue absorption capacity of 84.14%. A key finding of this research is that the integration of amorphous silica and the use of CaCO₃ as a porogen significantly increase the surface area and porosity of the material, facilitating the expansion of the polymeric matrix to capture pollutants more optimally. This confirms the potential of the Amorphous Silica Alginate biocomposite as an efficient and fully biodegradable adsorbent for industrial waste remediation.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



1. PENDAHULUAN

Pesatnya pertumbuhan sektor industri tekstil di Indonesia membawa dampak negatif berupa peningkatan volume limbah padat, cair, dan gas, di mana zat warna dalam limbah cair menjadi polutan paling krusial karena sifatnya yang berbahaya bagi lingkungan [1]. Keberadaan limbah ini menimbulkan ancaman kesehatan serius, mulai dari memicu penyakit kulit pada penduduk lokal hingga risiko kanker akibat penyerapan zat warna karsinogenik ke dalam tubuh manusia. Kondisi ini diperumit oleh struktur aromatik zat warna yang sangat stabil dan resisten terhadap penguraian aerob, sehingga diperlukan penanganan limbah yang lebih serius dan profesional [2]. Sesuai ketentuan PP No. 19 Tahun 1994, limbah industri tekstil termasuk dalam klasifikasi limbah B3. Hal ini mengharuskan adanya prosedur pengolahan khusus sebagai upaya mitigasi dampak lingkungan sebelum limbah tersebut dibuang secara bebas [3]. Sebagai solusi, teknik adsorpsi hadir sebagai metode pengolahan air limbah yang efektif melalui mekanisme penyerapan molekul atau ion pada permukaan material adsorben, di mana interaksi fisik maupun kimia menyebabkan zat pencemar menempel pada permukaan padatan dan secara signifikan mengurangi konsentrasi polutan dalam fase cair [4].

Ekskultasi eksplorasi biokomposit saat ini difokuskan pada pemanfaatan sumber daya terbarukan untuk mereduksi ketergantungan terhadap bahan baku fosil, di mana alginat hasil ekstraksi rumput laut cokelat menjadi komponen krusial karena sifatnya yang ramah lingkungan dan fungsional [5]. Secara struktural, alginat merupakan biopolimer yang tersusun atas unit asam guluronat yang bersifat kaku dan asam manuronat yang bersifat fleksibel, yang dihubungkan melalui ikatan α -L-guluronat serta 1,4-D-asam manuronat [6]. Meskipun gabungan struktur ini mampu membentuk hidrogel, alginat memerlukan pemicu eksternal berupa keterlibatan kation atau ion divalen seperti kalsium (Ca^{2+}) melalui mekanisme gelasi ionik untuk menghasilkan struktur gel yang kokoh [7]. Di sisi lain, penggunaan silika (SiO_2) yang terbentuk dari polimerisasi asam silikat dengan struktur rantai satuan SiO_4 tetrahedral memberikan nilai fungsional tinggi dalam industri polimer, terutama pada jenis amorf yang memiliki fleksibilitas struktur dibandingkan bentuk kristalin [8]. Karakteristik fisik silika yang dipenuhi pori-pori menciptakan luas permukaan besar dengan kemampuan higroskopis yang efektif untuk memerangkap uap air, sehingga menjadikannya zat adsorben yang sangat diandalkan baik dalam skala laboratorium maupun industri [9].

Adsorpsi merupakan fenomena fisikokimia yang melibatkan akumulasi dan pelekatan molekul kontaminan pada permukaan zat adsorben, sebuah teknik yang terbukti efektif dalam memurnikan air dari berbagai polutan [10]. Efisiensi proses pemurnian ini sangat ditentukan oleh tingkat porositas material penyerap yang menyediakan luas permukaan kontak maksimal, di mana penggunaan berbagai jenis bahan porogen menjadi faktor krusial dalam fabrikasi untuk menghasilkan struktur pori yang diinginkan [11]. Dalam pengembangan adsorben biokomposit, efektivitasnya dapat dioptimalkan melalui ekstraksi silika guna memperoleh tingkat kemurnian yang lebih tinggi sebelum diaplikasikan [12], serta memanfaatkan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai agen pembentuk pori (*pore-forming agent*) yang efektif untuk menciptakan struktur material yang berpori [13].

Berdasarkan penelitian terdahulu [14] Penelitian ini mengoptimalkan potensi natrium alginat sebagai agen pelapis sekaligus matriks pengikat pada sekam padi untuk menciptakan adsorben yang lebih unggul. Melalui pemanfaatan gugus fungsi aktif yang melimpah pada struktur alginat, kapasitas adsorpsi material berhasil ditingkatkan secara signifikan. Penelitian sejenis juga dilakukan oleh [15] Studi ini mengembangkan manik-manik komposit dengan menggabungkan PEC alginat-kitosan dengan karbon aktif dan CaCl_2 sebagai pengikat silang. Alginat bersifat polianionik, sedangkan kitosan bersifat polikationik. Setelah kompleks

polielektrolit (PEC) terbentuk, gugus amino kitosan dan gugus karboksil alginat terlibat dalam interaksi elektrostatis mandiri yang memungkinkan polimer-polimer ini untuk terhubung.

Penelitian ini difokuskan pada sintesis material adsorben berbentuk manik-manik (*beads*) berbasis alginat yang dikomposisikan dengan silika amorf (SiO_2) serta penambahan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai agen pembentuk pori (porogen) untuk meningkatkan luas permukaan dan efektivitas penyerapan zat warna. Proses pembentukan adsorben dilakukan melalui metode ikatan silang (*cross-linking*) menggunakan larutan kalsium klorida (CaCl_2) untuk menciptakan struktur jaringan antara alginat dan ion Ca^{2+} . Guna mengevaluasi kinerjanya, kemampuan adsorben ini diuji melalui aplikasi langsung pada larutan *methylene blue*, di mana perbandingan konsentrasi sebelum dan sesudah proses adsorpsi akan dianalisis untuk menentukan tingkat efektivitas komposit alginat-silika-kalsium karbonat dalam menyerap polutan warna secara optimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pasir kuarsa didapatkan dari produk samping pada proses di PT. Pertamina Geothermal Energi Tbk (PGE) Area Ulu belu tanggamus. Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu Laboratorium Analisis Polieknik Negeri Lampung dan Laboratorium PGE Area Ulu belu.

2.1 Preparasi Bahan

Preparasi sampel Geothermal Sludge dimulai dengan pengambilan sampel yang representatif, dilanjutkan dengan pembersihan kotoran yang menempel, dan pengeringan di bawah sinar matahari langsung selama 1 hingga 2 hari sampai benar-benar kering. Selanjutnya, sampel kering tersebut dihaluskan secara fisik menggunakan mortar dan diayak melalui ayakan berukuran 40-60 *mesh* [16].

2.2 Ekstraksi Pasir Kuarsa

25 gram geothermal sludge diekstraksi menggunakan 400 ml HCl 2 M (100°C , 1 jam, 300 rpm). Hasil ekstraksi dinetralkan dengan 300 ml akuades hingga mencapai pH netral. Pasir kuarsa hasil netralisasi direaksikan dengan 150 ml NaOH 5 M (250°C , 1 jam, 300 rpm), didiamkan semalam, lalu disaring. Larutan natrium silikat diendapkan dengan 50 ml HCl 11 M hingga membentuk gel silika. Gel didiamkan selama 18–24 jam untuk pembentukan struktur pori hierarkis SiO_2 . Gel disaring dan dicuci hingga netral. Pengeringan akhir menggunakan tungku pada variasi suhu 500, 700, dan 800°C selama 3 jam untuk menghasilkan bubuk silika [17].

2.3 Pembuatan *Beads* Na-Alginat

Pelarutan alginat dan silika amorf ke dalam 100 ml akuades dengan tiga variasi rasio (1:1,5; 1:2; dan 1:2,5). Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer hingga terbentuk larutan putih yang homogen. Penambahan 2 gram CaCO_3 ke dalam larutan disertai pengadukan hingga homogen, lalu didiamkan selama 24 jam. Larutan diteteskan menggunakan jarum suntik (*syringe*) ke dalam 250 ml larutan CaCl_2 3% hingga membentuk butiran. Butiran biokomposit disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral. *Beads* dikeringkan di dalam oven pada suhu 55°C selama 24 jam [18].

2.4 Karakterisasi *Beads*

Karakterisasi pada *Beads* dilakukan untuk menentukan kualitas dan efektifitas pada material *Beads* Alginat-Silika Amorf. (ASA)

2.4.1 Pengujian Porositas dan *Swelling*

Proses pengujian porositas dimulai dengan mengukur massa sampel awal (A) dalam kondisi kering. Selanjutnya, sampel direndam untuk kemudian diukur massa sampel saat berada di dalam air (B). Langkah terakhir dalam pengukuran adalah menentukan massa sampel dalam kondisi basah (C), yaitu massa sampel setelah dikeluarkan dari air namun pori-porinya masih terisi air [19].

$$\% \text{Porositas} = \frac{C-A}{A-B} \times 100\% \quad (1)$$

Uji tingkat pemekaran (*swelling*) dilakukan untuk menentukan kemampuan *beads* menyerap air, dimana prosedur diawali dengan menimbang berat mula-mula sampel *beads* (W_0), kemudian *beads* direndam dalam Aquadest selama periode tertentu, lalu setelah perendaman, berat *beads* ditimbang kembali (W_1); selanjutnya, sampel dikeringkan dalam desikator selama 24 jam hingga mencapai berat konstan yang kemudian ditimbang sebagai berat kering akhir (W_2); di mana tingkat penyerapan air atau tingkat pemekaran (*swelling*) ditentukan

dari selisih berat antara berat setelah direndam (W_1) dan berat mula-mula (W_2) yang kemudian dinyatakan dalam persentase menggunakan suatu persamaan [19].

$$\%Swelling = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

2.5. Pengujian Efektifitas *Beads* Terhadap *Methylene Blue*

2.5.1 Pembuatan Larutan Standar *Methylene Blue*

Larutan induk metilen biru (MB) 100 ppm disiapkan dengan menimbang secara akurat 100 mg padatan MB, kemudian dilarutkan sempurna dalam sejumlah kecil aquades, dan selanjutnya memindahkannya ke dalam labu ukur 1L, dilanjutkan dengan penambahan aquades hingga tanda batas, dan dihomogenkan secara menyeluruh [20].

2.5.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum *Methylene Blue*

Pengukuran absorbansi larutan methylene blue dengan konsentrasi 1 mg/L dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400 hingga 700 nm, yang menghasilkan panjang gelombang absorbansi maksimum (λ_{Max}) sebesar 675 nm [20].

2.4.2.3 Uji Penyerapan Warna *Methylene Blue* dengan Menggunakan *Beads* Alginat-Silika Amorf

Sebanyak 50 mg biokomposit *beads* yang terbuat dari alginat dan silika amorf dimasukan dalam 15 mL larutan *methylene blue* (MB) berkonsentrasi 10 ppm. Kemudian, campuran tersebut diaduk menggunakan *stirrer* selama 3 jam untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi. Setelah proses pengadukan selesai, campuran disaring dan filtrat yang diperoleh disentrifugasi selama 30 menit untuk memisahkan sisa padatan halus. Langkah terakhir adalah melakukan pengukuran konsentrasi MB yang tersisa dalam filtrat menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 675 nm untuk menentukan efektivitas adsorpsi [21].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakterisasi (Diameter, Porositas dan *Swelling*)

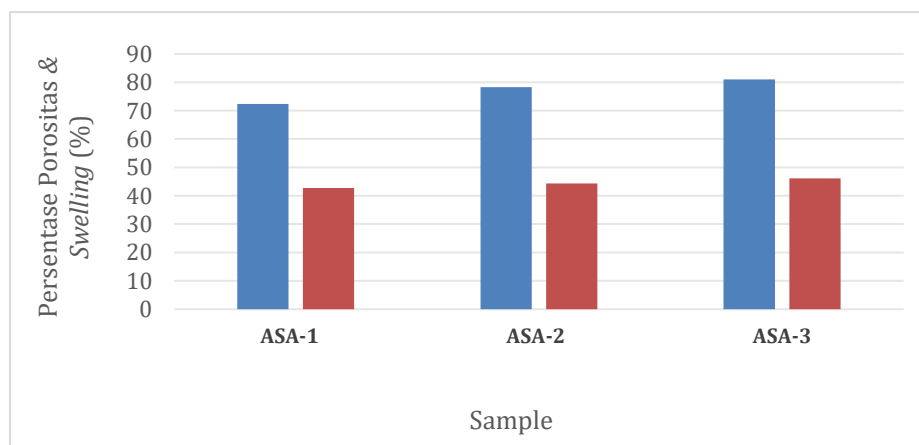
Analisis kuantitatif terhadap variasi dimensi manik-manik (*beads*) pada tiga kondisi hidrasi kering, terhidrasi parsial (basah), dan terhidrasi penuh (mengembang) telah dilaksanakan menggunakan instrumen pengukuran presisi, yaitu jangka sorong (*vernier caliper*). Data empiris dari pengukuran diameter ini diringkas dalam Tabel. Hasil rerata menunjukkan bahwa manik-manik dalam kondisi anhidrat (kering) memiliki diameter intrinsik D_{kering} sebesar 2,72 mm. Kondisi terhidrasi parsial (basah), diameter rerata meningkat menjadi D_{basah} 3,02 mm. Peningkatan dimensi yang paling signifikan teramati pada kondisi terhidrasi penuh (mengembang), mencerminkan kapasitas penyerapan fluida maksimumnya, dengan diameter rerata mencapai $D_{mengembang}$ 3,87 mm. Variasi dimensional ini mengindikasikan sifat hidrogel atau material higroskopis manik-manik tersebut, di mana perubahan volume terjadi akibat interaksi dengan molekul pelarut.

Tabel 1. Diameter *beads* Alginat-Silika Amorf (ASA)

Sampel	Dry	Wet	Swelling
ASA-1 (1:1,5)	2,55 mm $\pm$ 0,05 mm	2,8 mm $\pm$ 0,05 mm	3,65 mm $\pm$ 0,05 mm
ASA-2 (1:2)	2,75 mm $\pm$ 0,05 mm	3 mm $\pm$ 0,05 mm	3,8 mm $\pm$ 0,05 mm
ASA-3 (1:2,5)	2,85 mm $\pm$ 0,05 mm	3,25 mm $\pm$ 0,05 mm	4,15 mm $\pm$ 0,05 mm

Adanya variasi konsentrasi porogen yang diinkorporasikan kedalam matriks manik-manik secara langsung memodulasi karakteristik pembengkakan dan dimensi akhir manik-manik, dimana data empiris (Tabel 1) mengonfirmasi bahwa peningkatan kadar silika berkorelasi positif dengan peningkatan persentase diameter pembengkakan manik-manik, yang secara spesifik teramati berada dalam rentang 9,5% hingga 62,7% setelah proses perendaman dalam aquades selama 24 jam.

Pengujian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi seperti SiO_2 , yang ditambahkan ke dalam struktur manik-manik (*beads*) secara positif dan signifikan memengaruhi peningkatan nilai *swelling* (pengembangan) dan porositas manik-manik tersebut, dimana konsentrasi porogen terendah pada manik-manik ASA-1 menghasilkan nilai *swelling* (42,7%) dan porositas (72,4%) yang paling minimal.



Gambar 3. Grafik data porositas dan swelling

3.2. Pengujian Efektifitas *Beads* Alginat-Silika Amorf Terhadap *Methylene Blue*

3.3.1 Uji Degradasi Warna *Methylene Blue* dengan Menggunakan *Beads* Alginat-Silika Amorf

Evaluasi efektivitas material *beads* Alginat-Silika Amorf berfokus pada kemampuan degradasinya terhadap larutan Metilen Biru berkonsentrasi 10 ppm, melalui pengujian adsorpsi yang dilaksanakan dalam kondisi pengadukan kontinu (*stirring*), dengan data hasilnya tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2. Persentase degradasi larutan *methylene blue*

Material	Absorbansi		Rata-Rata	X_0 (ppm)	X_t (ppm)	%Penyerapan
	I	II				
ASA-1	0.224	0.224	0.224	9.905	6.833	44.944
ASA-2	0.197	0.196	0.197	9.905	6.000	65.075
ASA-3	0.176	0.176	0.176	9.905	5.379	84.140

Pada tabel terlihat semakin tinggi konsentrasi silika maka semakin efektif pada penyerapan warna *methylene blue*. Peningkatan diameter *beads* Alginat-Silika Amorf dengan variasi konsentrasi SiO_2 (15, 20, dan 25 gram), dari rentang 2,55-2,85 mm menjadi 2,95-3,25 mm setelah perendaman dalam larutan *methylene blue* (Tabel 3), secara teoritis mengindikasikan peran material tersebut sebagai adsorben yang efektif melalui mekanisme pengembangan (*swelling*) matriks polimerik sebagai respons terhadap serapan zat cair dan zat terlarut.

Tabel 3. Diameter ASA pada uji efektifitas adsorpsi MB

Sampel	Awal	Akhir
ASA-1	2,55 mm $\pm$ 0,05 mm	2,95 mm $\pm$ 0,05 mm
ASA-2	2,75 mm $\pm$ 0,05 mm	3,15 mm $\pm$ 0,05 mm
ASA-3	2,85 mm $\pm$ 0,05 mm	3,25 mm $\pm$ 0,05 mm

Penelitian ini mendemonstrasikan bahwa material komposit Alginat-Silika Amorf (ASA-3) mencapai efisiensi penyerapan *methylene blue* yang signifikan, yaitu sebesar 84,1%, dengan efektivitas proses yang tinggi ini dipengaruhi oleh faktor adsorpsi seperti massa adsorben, waktu kontak, konsentrasi awal zat warna dan karakteristik kimia zat warna itu sendiri.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini memaparkan keberhasilan pengembangan biokomposit inovatif yang memadukan alginat dan silika amorf sebagai material ramah lingkungan dan sepenuhnya biodegradable. Integrasi silika (SiO_2) dan CaCO_3 ke dalam struktur manik-manik (*beads*) terbukti secara signifikan mengoptimalkan porositas dan kapasitas pembengkakan (*swelling*) material. Secara fisik, terdapat korelasi positif antara konsentrasi silika dengan dimensi *beads* sampel ASA-3 (rasio 1:2,5) tercatat sebagai varian dengan diameter terbesar baik dalam kondisi kering maupun basah.

Sejalan dengan peningkatan kadar silika, kemampuan adsorpsi terhadap zat warna *methylene blue* juga meningkat tajam, di mana ASA-3 mencapai efisiensi puncak sebesar 84,14%. Mekanisme penyerapan polutan ini difasilitasi oleh ekspansi matriks polimerik saat berinteraksi dengan fluida. Berdasarkan karakteristik tersebut, material ini memiliki potensi aplikasi yang luas, mulai dari media tanam (pertanian), hingga agen pemurnian limbah industri.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada PT. Pertamina Geothermal Energi Tbk (PGE) Area Ulu Belu, Kepala laboratorium Teknologi Rekayasa Kimia Industri Politeknik Negeri Lampung, Bapak Dienar Adiose Aljahez dan Bapak Joko Septriono yang telah memberikan dukungan serta fasilitas area PGE dan laboratorium sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. D. I. Pambudi, D. H. A. Sudarni, and S. Wahyuningsih, "Optimasi Pengaruh Waktu Kontak dan Dosis Adsorben Limbah Daun Kayu Putih (Melaleuca cajuputi) dengan Metode Isoterm Adsorpsi Langmuir," vol. 11, no. 2, pp. 72–79, 2022.
- [2] Y. Putri and A. H. Oktaviana, "Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Pada Limbah Industri Batik Menggunakan Adsorben dari Mahkota Buah Nanas Adsorption of Remazol Brilliant Blue R Dye on Batik Industry Waste Using Pineapple Crown Adsorbent," vol. 21, no. 1, 2024.
- [3] A. Fitriansyah, H. Amir, and Elvinawati, "Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif Dari Sabut Pinang (Areca Catechu) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigosol Blue 04-B," vol. 5, no. 1, pp. 42–54, 2021.
- [4] F. Zulfania, Aribadin, R. Fathoni, and A. M. Nur, "Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn Dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (Zea Mays)," vol. 6, no. 200, pp. 65–69, 2022.
- [5] N. Kemal, M. Siahaan, S. Gustiani, and Kurniawan, "STUDI PEMBUATAN BIOKOMPOSIT DARI LIMBAH TEPUNG Manihot esculenta crantz DENGAN PENGUAT SERAT BATANG SEMU PISANG," vol. 36, no. 2, pp. 67–72, 2021.
- [6] H. Herlinaa, A. Falahudina, I. Gustiana, A. M. H. Putrantoa, M. Adfaa, and S. Y. Sa, "Membran Alginat Padina sp. - Polietilen Glikol (AP-PEG): Preparasi, Karakterisasi dan Aplikasinya sebagai Enkapsulan," vol. 17, no. 1, pp. 63–73, 2021, doi: 10.20961/alchemy.17.1.41713.63-73.
- [7] A. Monica and A. M. Sutedja, "Peranan Alginat Sebagai Material Enkapsulan Dalam Menjaga Kestabilan Jumlah Dan Aktivitas Antioksidan Polifenol," Pp. 282–295, 2025.
- [8] A. F. Falaah, A. Cifriadi, And A. C. Kumoro, "Produksi Silika Amorf Dari Sekam Padi Untuk Filler Barang Jadi Karet Menggunakan Fluidized Bed Combustor," vol. 35, no. 1, pp. 77–88, 2016.
- [9] D. Nggolaon, S. Silahooy, G. W. Jaya, and N. Hattu, "Analisis Dan Karakterisasi Senyawa Silika (Sio 2) Berbahan Dasar Batuan Vulkanik Di Pulau Ambon," Vol. 7, No. 3, Pp. 98–105, 2024.
- [10] S. Purnomo And D. Vitasari, "Efisiensi Adsorpsi Zat Warna Indigo Dengan Karbon Aktif Menggunakan Kolom Bahan Isian," Pp. 136–141, 2023.
- [11] G. Pakpahan, D. G. H. Adoe, and I. S. Limbong, "Pengaruh Fraksi Massa Tepung Terigu Terhadap Hasil Hidroksiapatit dengan Prekursor Cangkang Bekicot Menggunakan Metode Sol-Gel," vol. 11, no. 01, pp. 107–115, 2024.
- [12] J. Pusvitasari, P. Manurung, and P. Karo-karo, "Pengaruh Variasi HCl Pada Pemurnian Silika Berbasis Batu Apung," vol. 06, no. 01, pp. 115–122, 2018.
- [13] W. A. Saputra, N. D. Dharmawati, and H. Purwoto, "Analisa Penggunaan Kalsium Karbonat (CaCO 3) dan Kehilangan Kernel pada Proses Pemisahan Kernel di Claybath," vol. 2, 2024.
- [14] N. Egi, G. Purwiandono, and P. Lestari, "Synthesis of Rice Husk-Based Biocomposites Coated with Sodium Alginate and Their Use in Congo Red Dye Adsorption Sintesis Biokomposit Berbahan Dasar Sekam Padi yang Dilapisi Natrium Alginat serta Aplikasinya dalam Adsorpsi Zat Warna Congo Red," vol. 9, no. 2, 2024.
- [15] D. Hermanto *et al.*, "Facile Synthesis of Activated Carbon/Alginate/Chitosan Composite Beads as Rhemazole Brilliant Blue R Adsorbent Dhony," vol. 07, no. 03, pp. 480–495, 2024.
- [16] Y. F. Prakasa, M. R. Asrori, and D. Rachmadika, "Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD," vol. 5, no. 2, pp. 58–62, 2020, doi: 10.37033/fjc.v5i2.154.
- [17] P. L. A, R. A. Berliani, E. A. Pratama, R. A. A.- Jannata, D. V. Pratiwi, and H. Widiyandari, "Extraction of Silica (SiO2) from Rare-Earth Metal Zircon (ZrSiO4) as Lithium-Ion Battery Anode Material," vol. 26, no. 3, pp. 79–84, 2023.
- [18] S. Ananda, S. Elystia, and D. Fitria, "Aplikasi Beads Komposit Chitosan – Clay Sebagai Adsorben dalam Penyerapan Ion Klorida (Cl-) Pada Air Payau," vol. 9, no. 3, pp. 450–465, 2023.
- [19] G. Purwiandono, H. Julita, D. A. Saputra, P. S. Kimia, and U. I. Indonesia, "Pengaruh Variasi HA-TCP (Hydroxy Apatit-Tricalcium Pospat) Terhadap Biokomposit (HA : TCP) -Gelatin-CMC Sebagai Injectable Bone Substitute (IBS)," vol. 3, no. 1, pp. 24–30, 2009.
- [20] M. W. E. Permady and Z. Mustakim, "Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue menggunakan Cangkang Biji Kelapa Sawit sebagai Adsorben," vol. 1, no. 2, pp. 47–54, 2024.
- [21] H. Yuliani *et al.*, "Model Kesetimbangan Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Karbon Tempurung Kluwak," pp. 116–120, 2021.