

Pengaruh Karbon Aktif Dan Sodium Alginat Terhadap Penurunan Kadar Glifosat Tanah Tercemar Residu Pestisida

Nopita Sucitawati¹, Abdul Halim Daulay², Miftahul Husnah³

^{1,2,3}Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universita Islam Negeri Sumatera

Email: novitasucitawati1@gmail.com

ABSTRACT

The widespread use of pesticides has led to soil contamination, particularly from glyphosate residues. This study aims to investigate the effect of activated carbon and sodium alginate in reducing glyphosate levels in contaminated soil. Although previous research has demonstrated the potential of activated carbon in pesticide adsorption, no studies have systematically evaluated the variation in the composition of coconut shell activated carbon and sodium alginate in the adsorption of glyphosate residues. This research identifies that the combination of these two materials can significantly contribute to the reduction of glyphosate levels. The morphological characterization of the activated carbon surface through Scanning Electron Microscopy (SEM) reveals that the pores and surface structure of activated carbon are crucial in the adsorption process of glyphosate. Variations in the composition of coconut shell activated carbon and sodium alginate were applied to contaminated soil samples at ratios of 100%:0%, 90%:10%, and 80%:20%. Its effectiveness was measured by testing glyphosate levels using LC-MS/MS. The results demonstrate that activated carbon and sodium alginate are effective in reducing glyphosate levels and indicate that the morphological structure of activated carbon supports optimal adsorption processes.

Keywords: Activated Carbon, Contaminated Soil, Glyphosate, Sodium Alginate, Pesticide.

PENDAHULUAN

Penggunaan pestisida di sektor pertanian terus meningkat seiring dengan kebutuhan untuk mengendalikan hama dan meningkatkan hasil panen (Harahap, 2020). Salah satu jenis pestisida yang paling umum digunakan adalah glifosat, senyawa kimia yang efektif sebagai herbisida. Namun, penggunaan glifosat yang berlebihan telah menimbulkan permasalahan serius, terutama terkait dengan pencemaran tanah. Residu glifosat yang tersisa di tanah dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama dan berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan, organisme tanah, dan bahkan kesehatan manusia (Qi dkk., 2023).

Tabel 1 Pestisida yang Dapat Mengganggu Hormon dan Reproduksi

Pestisida	Merusak metabolisme steroid	Merusak fungsi tiroid	Berpengaruh terhadap spermatogenesis	Berpengaruh terhadap reproduksi
Atrazin	✓			
Karbofuran	✓			
Linden	✓			
Amitrol		✓		
Beberapa ditiokarbamat (maneb, zineb, mancozeb)		✓	✓	✓
Iosinil		✓		
Metribuzin		✓		
Piretroid		✓	✓	
Trifluralin		✓		
Fungisida			✓	
Glifosat			✓	
Beberapa organofosfat			✓	✓
2,4-D				✓

Pencemaran tanah oleh residu glifosat membutuhkan metode yang efektif untuk menurunkan kadar senyawa tersebut dalam tanah (Zuhaida, 2018). Salah satu metode yang banyak digunakan adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif. Karbon aktif, terutama yang berbahan dasar tempurung kelapa, dikenal memiliki struktur pori yang baik dan luas permukaan yang besar, sehingga mampu mengadsorpsi berbagai senyawa kimia, termasuk glifosat (Supriyati & others, 2023). Meskipun telah ada beberapa penelitian mengenai efektivitas karbon aktif dalam adsorpsi pestisida, masih belum ada studi yang secara sistematis mengevaluasi kombinasi antara karbon aktif tempurung kelapa dan sodium alginat dalam konteks pengurangan kadar glifosat. Penelitian ini bertujuan untuk merekatkan celah tersebut (Ardiwinata, 2020).

Sodium alginat, polimer alami yang diekstrak dari alga coklat, memiliki sifat sebagai agen pengikat dan mampu meningkatkan stabilitas serta efektivitas karbon aktif dalam proses adsorpsi. Kombinasi antara karbon aktif dan sodium alginat diharapkan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dan menurunkan kadar glifosat secara signifikan dalam tanah yang tercemar (Wang dkk., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi karbon aktif tempurung kelapa dan sodium alginat terhadap penurunan kadar glifosat di tanah yang tercemar residu pestisida. Variasi komposisi karbon aktif dan sodium alginat akan diaplikasikan pada sampel tanah dengan rasio 1:1, dan efektivitasnya akan diukur melalui pengujian kadar glifosat menggunakan LC-MS/MS. Selain itu, uji morfologi permukaan karbon aktif melalui Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk mengidentifikasi peran struktur pori dan permukaan karbon aktif dalam proses adsorpsi glifosat.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen, dengan melakukan pendekatan secara kuantitatif. Adapun penelitian ini memberikan manfaat dalam meningkatkan kualitas lingkungan dengan mengurangi kontaminasi tanah akibat residu glifosat melalui penggunaan karbon aktif dan sodium alginat (Ajoku & Oduola, 2013).

1. Tahapan Preparasi Tanah Tercemar

Tahapan preparasi tanah tercemar residu pestisida dimulai dengan pengambilan sampel tanah dari lokasi yang akan dicemari. Selanjutnya, tanah diayak untuk memisahkan antara akar dan rumput, sehingga diperoleh tanah yang lebih bersih. Setelah itu, tanah yang telah diayak dijemur selama 1-2 hari dengan total waktu sekitar 7 jam untuk mengurangi kadar air. Proses pencemaran dilakukan dengan mencampurkan tanah yang telah dijemur dengan larutan pestisida glifosat selama 1 jam, memastikan larutan terdistribusi merata. Setelah pencemaran, tanah dijemur kembali selama 7 jam untuk mensimulasikan kondisi pencemaran yang lebih alami. Tahapan ini memastikan bahwa tanah tercemar siap untuk diuji.

2. Tahapan Preparasi dan Karakteristik Karbon Aktif

Tahapan preparasi dan karakteristik karbon aktif dimulai dengan pengadaan karbon aktif secara komersial yang berasal dari tempurung kelapa. Karbon aktif ini kemudian digiling hingga halus dengan ukuran partikel yang lolos 100 mesh untuk memastikan bahwa ukuran partikel yang lebih kecil dapat meningkatkan luas permukaan dan efisiensi adsorpsi. Setelah proses penggilingan, dilakukan uji morfologi permukaan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk menganalisis struktur pori dan karakteristik permukaan karbon aktif (Mentari dkk., 2018). Analisis ini penting untuk memahami kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap residu glifosat pada tanah tercemar, serta untuk menentukan hubungan antara morfologi permukaan dan efektivitas penurunan kadar glifosat dalam penelitian ini.

3. Tahapan Pencampuran Variasi Karbon Aktif dan Sodium Alginat

Tahapan pencampuran antara karbon aktif dan sodium alginat dengan tanah dilakukan dengan cara langsung mencampurkan kedua adsorben tersebut ke dalam tanah tercemar. Pertama, siapkan proporsi karbon aktif dan sodium alginat sesuai dengan variasi yang

ditentukan (misalnya, 100% karbon aktif, 90% karbon aktif dan 10% sodium alginat, atau 80% karbon aktif dan 20% sodium alginat) .

Setelah proporsi ditentukan, campurkan karbon aktif dan sodium alginat dalam wadah bersih. Kemudian, masukkan campuran tersebut langsung ke dalam tanah tercemar yang telah disiapkan sebelumnya. Aduk tanah dan campuran adsorben secara merata menggunakan alat pengaduk atau tangan, pastikan semua bagian tanah terpapar oleh campuran tersebut.

Proses pencampuran ini bertujuan untuk memastikan bahwa karbon aktif dan sodium alginat dapat berinteraksi dengan residu glifosat di dalam tanah, sehingga meningkatkan efektivitas adsorpsi selama penelitian. Setelah pencampuran, tanah yang telah diperlakukan siap untuk uji lebih lanjut mengenai penurunan kadar glifosat.

4. Tahapan Karakterisasi Sample

4.1 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Tahapan karakterisasi sampel menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dimulai dengan persiapan sampel karbon aktif yang telah digiling dan lolos 100 mesh. Pertama, ambil sejumlah kecil sampel karbon aktif dan letakkan pada wadah khusus yang sesuai untuk analisis SEM. Pastikan sampel bersih dari kontaminan yang dapat mempengaruhi hasil pengamatan.

Selanjutnya, lapi permukaan sampel dengan lapisan konduktif tipis (misalnya, emas atau karbon) menggunakan sputter coater. Proses pelapisan ini penting untuk meningkatkan konduktivitas listrik sampel selama pengamatan SEM. Setelah pelapisan selesai, masukkan sampel ke dalam ruang SEM dan atur parameter pengamatan, seperti tegangan akselerasi dan pembesaran yang sesuai. Lakukan pemindaian pada berbagai area sampel untuk memperoleh morfologi permukaan. Analisis yang dihasilkan akan memberikan informasi tentang struktur pori, distribusi ukuran partikel, dan karakteristik permukaan karbon aktif (Supriyati & others, 2023).

4.2 *Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry* (LC-MS/MS)

Tahapan karakterisasi menggunakan teknik LC-MS/MS (*Liquid Chromatography-Mass Spectrometry/Mass Spectrometry*) dilakukan untuk menganalisis kadar glifosat dalam sampel tanah yang telah diperlakukan. Proses dimulai dengan persiapan sampel, di mana tanah sebelum proses pencampuran adsorben dengan tanah yang telah dicampurkan dengan karbon aktif dan sodium alginat diambil dan diekstraksi menggunakan pelarut yang sesuai, seperti air atau larutan buffer, untuk memisahkan glifosat dari matriks tanah. Setelah ekstraksi, larutan disaring menggunakan filter membran untuk menghilangkan partikel padat yang dapat mengganggu analisis. Selanjutnya, kolom kromatografi disiapkan dengan pengaturan kondisi yang sesuai, termasuk suhu dan laju aliran, agar cocok dengan metode yang telah divalidasi untuk pemisahan glifosat (*Gas Chromatography - Brian Stuart - Google Books*, n.d.).

Setelah itu, instrumen LC-MS/MS dinyalakan dan dikalibrasi sesuai dengan protokol yang ditetapkan, di mana larutan standar glifosat dengan konsentrasi bervariasi disiapkan untuk membuat kurva kalibrasi. Filtrat sampel tanah kemudian diinjeksi ke dalam sistem LC-MS/MS, yang akan memisahkan glifosat dari komponen lainnya dalam sampel selama tahap kromatografi. Setelah pemisahan, komponen yang terpisah dianalisis menggunakan *mass spectrometer* untuk mendeteksi dan mengukur ion glifosat berdasarkan rasio massa. Hasil analisis *mass spectrometry* diolah menggunakan perangkat lunak analisis untuk menghitung konsentrasi glifosat dalam sampel dan dibandingkan dengan kurva kalibrasi (D'Ovidio dkk., 2023). Akhirnya, laporan dibuat yang mencakup konsentrasi glifosat dalam sampel tanah beserta analisis dan interpretasi hasil yang diperoleh, yang sangat penting untuk menilai efektivitas karbon aktif dan sodium alginat dalam menurunkan kadar glifosat pada tanah tercemar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

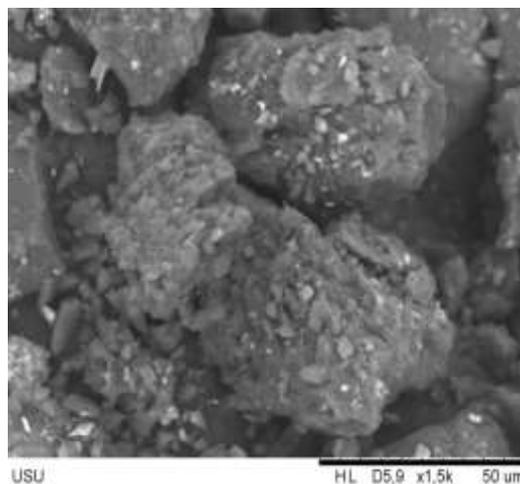
Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan karbon aktif dan sodium alginat dapat efektif dalam menurunkan kadar glifosat pada tanah yang tercemar. Variasi komposisi keduanya memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat penurunan kadar glifosat, di mana kombinasi yang tepat dari karbon aktif dan sodium alginat menghasilkan efektivitas yang lebih baik dalam proses adsorpsi (Mangkoedihardjo, 2022).

1. Karakteristik Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Morfologi permukaan karbon aktif tempurung kelapa diidentifikasi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan perbesaran objek 1.500x. Hasil analisis SEM, yang ditunjukkan pada Gambar 1, memperlihatkan bahwa karbon aktif memiliki struktur pori yang baik dan permukaan yang luas. Pori-pori yang terdistribusi merata pada permukaan karbon aktif berperan penting dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi glifosat.

Analisis SEM menunjukkan variasi ukuran dan bentuk pori yang bervariasi, yang dapat memfasilitasi interaksi yang lebih baik antara karbon aktif dan molekul (Lubis dkk., 2012). Struktur permukaan yang berpori memungkinkan lebih banyak ruang untuk penyerapan, yang sangat penting dalam proses adsorpsi senyawa kimia. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa morfologi permukaan karbon aktif berkontribusi secara langsung terhadap kemampuannya dalam mengadsorpsi senyawa target (Bakti dkk., 2023).

Keberadaan pori-pori yang cukup besar dan beragam dalam karbon aktif ini berpotensi meningkatkan efisiensi adsorpsi glifosat. Pori-pori yang lebih besar dapat mengakomodasi molekul glifosat yang lebih besar, sementara pori-pori kecil dapat menangkap molekul yang lebih kecil dan memungkinkan penjerapan yang lebih cepat. Hasil ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari tempurung kelapa tidak hanya efektif dalam penyerapan glifosat, tetapi juga memiliki struktur morfologi yang mendukung proses adsorpsi yang optimal. Dengan demikian, karakteristik mikrostruktur karbon aktif tempurung kelapa dapat menjadi faktor kunci dalam pengembangan material adsorben yang lebih efisien untuk remediasi tanah tercemar (Mukhtar dkk., n.d.).



Gambar 1. Hasil SEM Permukaan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Berdasarkan Perbesaran 1.500x

Berdasarkan hasil pengamatan yang dianalisis menggunakan perangkat lunak Digimizer, diperoleh data mengenai pengukuran diameter pori karbon aktif tempurung kelapa sebagaimana tercantum dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Diameter Pori Karbon Aktif Tempurung Kelapa Berdasarkan Analisis Software Digimizer.

Rentang Ukuran Diameter pori (μm)	Rata-Rata Diameter Pori (μm)	Standar Deviasi (μm)
1,812-50,000	5,0241	12,4422

Hasil dari Tabel 1, Rentang ukuran diameter pori karbon aktif yang dihasilkan dalam penelitian ini berkisar antara 1,812 hingga 50,000 μm , yang menunjukkan bahwa sebagian besar pori tersebut termasuk dalam kategori makropori. Makropori, yang didefinisikan sebagai pori dengan diameter lebih besar dari 50 μm , memiliki kemampuan untuk menyediakan kapasitas penyimpanan yang tinggi untuk molekul yang lebih besar, seperti residu pestisida. Rata-rata diameter pori sebesar 5,0241 μm menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar pori berada dalam kategori makropori, ada juga variasi dalam ukuran yang mungkin mencakup mesopori (pori dengan diameter antara 2-50 μm) dan mikropori (pori dengan diameter kurang dari 2 μm) (Supriyati & others, 2023).

Standar deviasi sebesar 12,4422 μm menunjukkan adanya variasi yang signifikan dalam ukuran pori di dalam sampel, mencerminkan seberapa jauh ukuran pori dapat bervariasi dari rata-rata. Standar deviasi yang tinggi ini menandakan bahwa sebagian besar pori dalam karbon aktif memiliki ukuran yang berbeda secara substansial dari rata-rata, serta memberikan gambaran tentang distribusi ukuran pori yang tidak merata.

Karakteristik ukuran pori ini sangat penting dalam konteks penelitian, karena dapat mempengaruhi kemampuan karbon aktif dalam menyerap glifosat. Pori yang lebih besar akan lebih mampu menangkap residu pestisida yang lebih besar, sementara ukuran pori yang lebih kecil cenderung lebih efektif dalam menangkap molekul yang lebih kecil. Dengan demikian, meskipun sebagian besar pori tergolong makropori, variasi ukuran ini memberikan keuntungan dalam proses adsorpsi, memungkinkan karbon aktif berfungsi secara efektif dalam mengurangi kadar glifosat pada tanah tercemar (Suastika dkk., 2023).

Hasil analisis morfologi ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang digunakan dalam penelitian memiliki potensi yang baik dalam aplikasi adsorpsi untuk mengurangi residu pestisida, tergantung pada interaksi antara ukuran pori dan sifat molekul glifosat. Hal ini menegaskan pentingnya pemilihan karbon aktif dengan karakteristik morfologi yang tepat untuk aplikasi pengolahan limbah dan remediasi lingkungan.

2. Karakterisasi LC-MS/MS

2.1 Hasil Pengujian Tanah Tercemar Residu Pestisida Sebelum Pengaruh Karbon Aktif dan Sodium Alginat

Sebelum penerapan karbon aktif tempurung kelapa dan sodium alginat dalam remediasi tanah yang tercemar residu pestisida, kondisi tanah dapat menunjukkan tingkat kontaminasi yang tinggi, terutama dengan senyawa seperti glifosat. Pestisida seperti glifosat dapat mengikat partikel tanah dan mempengaruhi kualitas tanah serta air tanah, mengakibatkan gangguan pada mikroorganisme tanah dan penurunan kesuburan tanah. Selain itu, glifosat dapat berpotensi tercuci ke dalam air tanah, menimbulkan risiko pencemaran lebih lanjut.

Tabel 2. Sebelum Pengaruh Karbon Aktif dan Sodium Alginat

Parameter	Satuan	Simplo	Duplo	Nilai Rata-Rata
Glifosat	%	1,68	1,72	1,7

Tanah yang tercemar pestisida cenderung memiliki residu kimia yang sukar terdegradasi secara alami, sehingga diperlukan upaya tambahan untuk mengurangi tingkat kontaminasi. Tanpa adanya agen adsorben, seperti karbon aktif dan bahan alami seperti sodium alginat,

proses pemulihan tanah secara alami dapat memakan waktu lama, dan dampak negatif terhadap ekosistem di sekitarnya akan berlanjut.

Hasil dari Tabel 2, Kadar residu pestisida pada tanah sebelum dilakukan proses variasi karbon aktif dan sodium alginat dapat dianalisis secara ex-situ. Berdasarkan hasil analisis, kadar residu pada pengulangan satu kali (simplo) sebesar 1,68%, dan pada pengulangan dua kali (duplo) sebesar 1,72%, dengan rata-rata 1,7%.

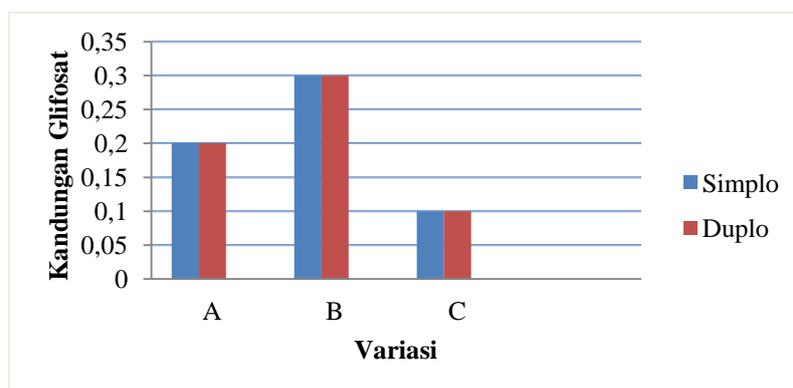
2.2 Hasil Pengujian Pengaruh Tanah Dari Karbon Aktif dan Sodium Alginat

Untuk menggambarkan hasil kadar tanah yang tercemar residu pestisida setelah proses variasi, serta perubahan yang terjadi akibat penggunaan adsorben karbon aktif berbahan tempurung kelapa dan sodium alginat pada sampel A, B, dan C, data tersebut dapat dilihat dalam Tabel 3. Hasil ini memberikan gambaran efektivitas kombinasi bahan adsorben dalam menurunkan kadar residu pestisida di masing-masing sampel.

Tabel 3. Hasil Uji Glifosat Tanah Tercemar Residu Pestisida Sesudah Proses Karbon Aktif dan Sodium Alginat

Sampel	Hasil Pengujian Kadar Tanah		
	Simplo	Duplo	Nilai Rata-Rata
A	0,2%	0,2%	0,2%
B	0,3%	0,3%	0,3%
C	0,1%	0,1%	0,1%

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengujian kadar tanah yang tercemar residu pestisida setelah remediasi menunjukkan bahwa pada sampel A (100% karbon aktif : 0% sodium alginat), nilai rata-rata kadar residu adalah 0,2%. Pada sampel B (90% karbon aktif : 10% sodium alginat), nilai rata-rata mencapai 0,3%, sedangkan pada sampel C (80% karbon aktif : 20% sodium alginat), kadar residu tercatat sebesar 0,1%. Dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Grafik Kandungan Glifosat

Berdasarkan hasil penelitian, terjadi penurunan kadar glifosat yang signifikan pada semua variasi sampel. Sampel A yang menggunakan 0% alginat dan 100% karbon aktif mampu menurunkan kadar glifosat sebesar 88,24%. Pada sampel B, dengan komposisi 10% sodium alginat dan 90% karbon aktif, penurunan kadar glifosat tercatat sebesar 82,35%. Sementara itu, sampel C yang menggunakan kombinasi 20% sodium alginat 80% karbon aktif menunjukkan hasil penurunan yang paling signifikan, yaitu mencapai 94,12%.

Hasil ini menunjukkan bahwa variasi komposisi sodium alginat dan karbon aktif tempurung kelapa yang paling optimal dalam menurunkan kadar residu pestisida adalah pada perbandingan 20% : 80% (sampel C), dengan persentase penurunan kadar pestisida yang paling signifikan.

KESIMPULAN

Terjadi penurunan kadar glifosat yang signifikan pada semua variasi sampel. Sampel A yang menggunakan 0% alginat dan 100% karbon aktif mampu menurunkan kadar glifosat sebesar 88,24%. Pada sampel B, dengan komposisi 10% sodium alginat dan 90% karbon aktif, penurunan kadar glifosat tercatat sebesar 82,35%. Sementara itu, sampel C yang menggunakan kombinasi 20% sodium alginat 80% karbon aktif menunjukkan hasil penurunan yang paling signifikan, yaitu mencapai 94,12%. Hasil ini menunjukkan efektivitas kombinasi sodium alginat dan karbon aktif dalam remediasi tanah yang tercemar glifosat. Penggunaan sodium alginat dan karbon aktif tempurung kelapa menghasilkan kualitas tanah tercemar residu pestisida yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan kadar glifosat pada seluruh sampel uji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ajoku, G. A. O., & Oduola, M. K. (2013). Kinetic model of pH effect on bioremediation of crude petroleum contaminated soil. 1. Model development. *American Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 6–10.
- [2] Ardiwinata, A. N. (2020). Pemanfaatan Arang Aktif dalam Pengendalian Residu Pestisida di Tanah: Prospek dan Masalahnya. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(1), 49. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v14n1.2020.49-62>
- [3] Bakti, A. I., Lumembang, M. M., & others. (2023). KARAKTERISASI KARBON AKTIF YANG TERBUAT DARI TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN TEKNIK PIROLISIS DENGAN AKTIVASI FISIKA DAN KIMIA. *Jurnal MIPA*, 12(2).
- [4] D'Ovidio, C., Locatelli, M., Perrucci, M., Ciriolo, L., Furton, K. G., Gazioglu, I., Kabir, A., Merone, G. M., de Grazia, U., Ali, I., & others. (2023). LC-MS/MS application in pharmacotoxicological field: Current state and new applications. *Molecules*, 28(5), 2127.
- [5] *Gas Chromatography - Brian Stuart - Google Books*. (n.d.). <https://books.google.ca/books?id=wVkz6Lei2dYC&printsec=frontcover&dq=gas+chromatography&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjtg4mNxtTRAhVK12MKHUaPBw4Q6wEISTAF#v=onepage&q=gas chromatography&f=false>
- [6] Harahap, P. S. (2020). *Paparan Pestisida Pada Petani*. Zahir Publishing.
- [7] Lubis, L. A., Purba, E., & Sipayung, R. (2012). Respons Dosis Biotip Eleusine indica Resisten-Glifosat terhadap Glifosat, Parakuat, dan Glufosinat. *J. Online Agroekoteknologi*. 1 (1): 109, 122.
- [8] Mangkoedihardjo, S. (2022). *Perlindungan Pesisir: Pengendalian Pencemaran dan Teknik Remediasi*. Nas Media Pustaka.
- [9] Mentari, V. A., Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) dan Asam Nitrat (HNO₃). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 16–20.
- [10] Mukhtar, A., Tamboesai, E. M., & others. (n.d.). *PENCAMPURAN KARBON AKTIF DAN BENTONIT SEBAGAI ADSORBEN DALAM PERBAIKAN BEBERAPA PARAMETER MINYAK GORENG BEKAS*.
- [11] Qi, Z., Han, Y., Afrane, S., Liu, X., Zhang, M., Crittenden, J., Chen, J. L., & Mao, G. (2023). Patent mining on soil pollution remediation technology from the perspective of technological trajectory. *Environmental Pollution*, 316, 120661.
- [12] Suastika, R., Sirait, R., & others. (2023). Pengaruh Suhu Aktivasi Fisika Terhadap Uji Mikrostruktur Karbon Aktif Mangrove. *Attadrib: Jurnal Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah*, 6(2), 262–271.
- [13] Supriyati, W., & others. (2023). *Arang, Arang Aktif, dan Asap Cair Kayu Gelam*. Penerbit NEM.
- [14] Wang, N., Wang, B., Wan, Y., Gao, B., & Rajput, V. D. (2023). Alginate-based composites as novel soil conditioners for sustainable applications in agriculture: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 348, 119133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119133>
- [15] Zuhaida, A. (2018). Deskripsi Saintifik Pengaruh Tanah Pada Pertumbuhan Tanaman: Studi Terhadap QS. Al A'raf Ayat 58. *Thabiea: Journal of Natural Science Teaching*, 1(2), 61–69.