

Pengaruh Penambahan Zeolit dan Karbon Aktif pada Papan Partikel Berbahan Dasar Ampas Tebu (*Saccharum officinarum* L.) dan Biomassa Lignoselulosa terhadap Kekuatan Mekanik serta Potensi Adsorptif terhadap Gas Polutan

Bernice Kinan Pindyastama¹, Almahabah Nur Illahi², Fatichah Lutfi Zata Aqmar³, Agus Widayoko⁴

^{1,2,3,4}SMA Trensains Muhammadiyah Sragen

*Corresponding author, e-mail: bernice.kinan@siswa.trensains.sch.id

Diserahkan: 17 Januari 2026 ; Direvisi: 18 Februari 2026 ; Diterima: 20 Februari 2026

Abstract

Indonesia is one of the largest sugarcane producers in Southeast Asia, but the bagasse waste produced is often underutilized and can pollute the environment. This study developed particle boards based on sugarcane bagasse and lignocellulosic biomass with the addition of zeolite and activated carbon. This study focused on observing the effect of adding zeolite and activated carbon as reinforcing materials for particle boards as well as adsorbents for pollutant gases. The method used in this study was quantitative research with an experimental approach. Data collection was conducted through observation and literature review. The boards were made by mixing biomass, bagasse, zeolite, activated carbon, resin, and catalyst in certain proportions, then molded and pressed until dry. Testing was carried out through load resistance testing (ASTM D1037-12), water absorption testing (SNI 03-2105-2006), and pollutant gas adsorption testing (SNI 19-7117.7-2005). The results showed that the board could withstand loads of up to 62 kg, had a water absorption capacity of 36.4%, and a CO gas adsorption efficiency of 44%. These findings prove that the addition of zeolite and activated carbon effectively increases mechanical strength and adsorption function, making particle boards an environmentally friendly construction solution and a means of reducing air pollutants.

Keywords: Activated carbon, Bagasse, Lignocellulosic biomass, Particle board, Zeolite

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu produsen tebu terbesar di Asia Tenggara, namun limbah ampas tebu yang dihasilkan sering belum dimanfaatkan dan dapat mencemari lingkungan. Penelitian ini mengembangkan papan partikel berbasis ampas tebu dan biomassa lignoselulosa dengan penambahan zeolit dan karbon aktif. Penelitian ini berfokus pada pengamatan pengaruh penambahan zeolit dan karbon aktif sebagai material penguat papan partikel sekaligus adsorben terhadap gas polutan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Pengumpulan data dilakukan dengan observasi dan studi pustaka. Pembuatan papan dilakukan dengan mencampur biomassa, ampas tebu, zeolit, karbon aktif, resin, dan katalis sesuai perbandingan tertentu, kemudian dicetak dan dipress hingga kering. Pengujian dilakukan melalui uji ketahanan beban (ASTM D1037-12), uji daya serap air (SNI 03-2105-2006), dan uji adsorpsi gas polutan (SNI 19-7117.7-2005). Hasil penelitian menunjukkan papan mampu menahan beban hingga 62 kg, memiliki daya serap air sebesar 36,4%, dan efisiensi adsorpsi gas CO sebesar 44%. Temuan ini membuktikan bahwa penambahan zeolit dan karbon aktif efektif meningkatkan kekuatan mekanik sekaligus fungsi adsorpsi, menjadikan papan partikel solusi konstruksi ramah lingkungan sekaligus pengurang polutan udara.

Kata Kunci: Ampas tebu, Biomassa Lignoselulosa, Karbon aktif, Papan partikel, Zeolit

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah serta memiliki sektor pertanian dan perkebunan yang sangat potensial. Salah satu jenis tumbuhan yang banyak ditemukan di Indonesia adalah tebu (*Saccharum officinarum* L.). Tanaman tebu merupakan salah satu bahan baku pembuatan gula. Menurut data dari Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian tahun 2024, produksi gula di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 2,27 juta ton. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara produsen tebu terbesar di kawasan Asia Tenggara. Banyaknya jumlah tebu di Indonesia tidak hanya meningkatkan angka persediaan bahan baku industri gula nasional, tetapi juga menghasilkan limbah yang sering kali tidak dimanfaatkan dengan baik.

Ampas tebu merupakan sisa hasil dari proses pemerasan batang tebu. Dalam proses produksinya, tebu menghasilkan 90% ampas tebu, 5% molase dan 5% air (Li-An'Amie & Nugraha, 2014). Limbah ini seringkali belum dimanfaatkan dengan baik dan dibuang begitu saja, yang nantinya akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Menurut analisis kandungan secara kimia, ampas tebu memiliki kandungan selulosa 40–50%, hemiselulosa 20–25%, dan lignin 18–25% (Mahmud & Anannya, 2021). Hal ini menjadikan ampas tebu sebagai bahan baku potensial dalam pembuatan papan partikel.

Papan partikel adalah papan rekayasa yang terbuat dari campuran biomassa seperti serbuk gergaji, ampas tebu, jerami padi, serat bambu, dan limbah biomassa lainnya. Campuran partikel ini nantinya akan direkatkan menggunakan perekat sintesis atau perekat alami. Papan partikel merupakan produk kayu rekayasa yang dibuat dengan cara merekatkan partikel kayu menggunakan resin sintesis dan dikempa menjadi lembaran. Namun, papan partikel memiliki berbagai kelemahan jika dibandingkan dengan kayu solid (Dukarska, et al., 2021).

Di sisi lain, peningkatan aktivitas industri, transportasi, dan urbanisasi yang pesat menyebabkan peningkatan emisi gas polutan seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), dan senyawa organik volatil (VOC). Gas-gas ini yang menyebabkan pencemaran udara, efek rumah kaca, hujan asam, serta berdampak langsung terhadap kesehatan manusia seperti gangguan pernapasan, iritasi, dan penyakit kardiovaskular. Menurut data dari WHO tahun 2023, polusi udara menjadi salah satu penyebab kematian dini terbesar di dunia dengan lebih dari 7 juta kasus kematian per tahun. Hal ini menunjukkan bahwasanya masalah pencemaran udara adalah isu mendesak yang harus segera kita atasi.

Allah SWT telah mengingatkan manusia untuk menjaga keseimbangan alam dalam firman-Nya:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar Kembali (ke jalan yang benar).” (Q.S Ar-Rum [30])

Maka dari itu, diperlukan papan partikel yang tidak hanya berfungsi sebagai bahan konstruksi atau furnitur, tetapi juga memiliki sifat fungsional seperti kemampuan adsorpsi terhadap gas polutan, juga salah satu kelemahan papan partikel adalah daya tahan terhadap kelembaban dan kekuatan mekanik yang masih lemah. Salah satu solusi untuk meningkatkan kualitas dari papan partikel adalah dengan cara menambahkan zat aditif seperti zeolit dan karbon aktif. Kombinasi antara zeolit dan karbon aktif berpotensi menghasilkan material komposit dengan kekuatan mekanik yang kuat sekaligus fungsi ganda sebagai penyerap polutan udara.

Zeolit dan karbon aktif adalah dua material berpori yang banyak dimanfaatkan dalam bidang lingkungan dan rekayasa material karena memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap gas

polutan. Zeolit memiliki struktur kristalin tiga dimensi dengan pori-pori seragam yang mampu melakukan pertukaran ion dan adsorpsi gas maupun logam berat. Selain itu, zeolit bersifat termal stabil, ramah lingkungan, dan mudah dimodifikasi menjadi komposit multifungsi (Medykowska, et al., 2024). Di sisi lain, karbon aktif dikenal memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar serta beragam gugus fungsional pada permukaannya, sehingga efektif untuk menyerap senyawa organik volatil (VOC), gas beracun, dan zat kimia lainnya (Ergun, et al., 2023).

Penelitian terbaru yang dilakukan oleh Ergun pada tahun 2023 menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif ke dalam bahan komposit dapat meningkatkan stabilitas termal dan kekuatan mekanik tanpa mengurangi kapasitas adsorpsi. Selain itu, modifikasi zeolit dengan karbon atau bahan organik lain terbukti mampu memperluas luas permukaannya serta memperbaiki efisiensi adsorpsi terhadap polutan baik di udara maupun di air (Hidayat, et al., 2023). Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, Integrasi antara zeolit dan karbon aktif terbukti tidak hanya meningkatkan kekuatan mekanik, tetapi juga berperan kuat dalam adsorpsi gas polutan.

Berdasarkan uraian diatas, Penelitian ini menggunakan zeolit dan karbon aktif sebagai adsorben pada papan partikel. Penelitian ini berfokus pada pengamatan pengaruh penambahan zeolit dan karbon aktif sebagai material penguat papan partikel sekaligus adsorben terhadap gas polutan.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Fokus dari uraian ini adalah pada pembuatan dan pengujian papan partikel berbahan dasar ampas tebu dan biomassa lignoselulosa dengan penambahan zeolit dan karbon aktif sebagai adsorben terhadap gas polutan. Pengumpulan data dilakukan dengan observasi dan studi pustaka. dilakukan di Laboratorium Kimia SMA Trensains Muhammadiyah Sragen pada Oktober 2025 untuk mengetahui proses serta keefektifan produk. Metode pengumpulan data melalui eksperimen dan studi literatur. Pengujian yang dilakukan meliputi: 1) Uji ketahanan; 2) Uji daya serap air; 3) Uji adsorpsi gas polutan.

Beberapa alat dan bahan yang dipakai dalam pembuatan papan partikel berbahan dasar ampas tebu dan biomassa lignoselulosa dengan penambahan zeolit dan karbon aktif ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Keterangan
1	Biomassa Lignoselulosa	400 gram
2	Ampas tebu	400 gram
3	Zeolit aktif	200 gram
4	Karbon aktif	200 gram
5	Resin	30 gram
6	Katalis	0,3 gram
7	Ember	1 buah
8	Blender	1 buah
9	Cetakan	1 buah
10	Saringan	40 mesh

Proses pembuatan papan partikel berbahan dasar biomassa lignoselulosa dan ampas tebu dengan penambahan zeolit dan karbon aktif adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan.



Gambar 1. Alat dan Bahan

2. Keringkan ampas tebu menggunakan oven pada suhu 70 C selama 2 jam.



Gambar 2. Proses oven

3. Blender bahan hingga halus.
4. Saring bahan yang telah di blender menggunakan saringan berukuran 40 mesh.



Gambar 3. Proses penyaringan

5. Siapkan 400g biomassa lignoselulosa dan 400g ampas tebu yang telah disaring.
6. Siapkan resin dan katalis dengan perbandingan 100 : 1.
7. Campurkan semua bahan menjadi satu kedalam wadah.



Gambar 4. Pencampuran bahan

8. Campurkan bahan dengan perbandingan biomassa lignoselulosa : ampas tebu : zeolit : karbon aktif : resin : katalis = 40 : 40 : 10 : 6 : 3 : 1.
9. Aduk bahan hingga rata.



Gambar 5. Pengadukan bahan

10. Tuang adonan kedalam cetakan.
11. Ratakan adonan pada cetakan.
12. *Press* cetakan selama 2 - 3 jam.



Gambar 6. Proses *press* cetakan

13. Keluarkan hasil dari cetakan.



Gambar 7. Papan setelah di *press*

14. Oleskan resin hingga rata pada setiap sudut.
15. Tunggu sampai kering selama 2 - 3 hari.
16. Papan partikel siap digunakan.



Gambar 8. Papan partikel

Papan partikel berbahan dasar biomassa lignoselulosa dan ampas tebu dengan penambahan zeolit dan karbon aktif kemudian melalui serangkaian pengujian meliputi 1) Uji ketahanan yang merujuk pada (ASTM D1037-12) yang digunakan sebagai dasar penilaian mutu fisik dan mekanik papan partikel berbasis biomassa. 2) Uji daya serap air yang dilakukan berdasarkan SNI 03-2105-2006 yang menjelaskan prosedur uji ketahanan terhadap air dan stabilitas dimensi pada material berbasis kayu dan biomassa. 3) Uji adsorpsi gas polutan dilakukan secara sederhana berdasarkan prinsip pengukuran penurunan konsentrasi gas menurut (SNI 19-7117.7-2005) tentang udara ambien.

1. Uji Ketahanan

Pengujian ini dilakukan secara sederhana dengan metode lentur tiga titik (three point bending test) menggunakan peralatan terbatas. Sampel papan partikel dipotong dengan ukuran seragam, kemudian diletakkan di atas dua tumpuan sejajar dengan jarak tertentu (L). Beban ditambahkan secara bertahap di bagian tengah papan hingga papan mengalami patah atau retak. Beban maksimum yang dapat ditahan sebelum papan patah dicatat sebagai beban lentur maksimum (W). Nilai kekuatan lentur atau Modulus of Rupture (MOR) dihitung menggunakan rumus sederhana:

$$MOR = \frac{3WL}{2bd^2}$$

Keterangan:

W = Beban maksimum yang diterima sebelum patah (Newton, N).

L = Jarak antara dua tumpuan pada saat pengujian (cm atau mm).

b = Lebar sampel uji (cm atau mm).

d = Tebal sampel uji (cm atau mm).

2. Uji daya serap air

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan papan partikel dalam menyerap air selama perendaman berdasarkan SNI 03-2105-2006. Pengujian ini bertujuan untuk menilai stabilitas dimensi dan ketahanan papan terhadap kelembapan lingkungan. Sampel papan partikel dipotong dengan ukuran seragam, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu sekitar $103 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 24 jam hingga mencapai berat konstan (W_1). Setelah itu, sampel direndam dalam air bersuhu ruang selama 24 jam, lalu diangkat dan dilap hingga tidak ada air yang menetes, kemudian ditimbang kembali untuk mendapatkan berat setelah perendaman (W_2). Nilai daya serap air dihitung menggunakan rumus:

$$WA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\%$$

Keterangan:

W1: Berat sample kering.

W2: Berat sample setelah perendaman.

3. Uji adsorpsi gas polutan

Prosedur pengujian dimulai dengan menempatkan sensor di dalam ruang tertutup (chamber) tanpa sampel, kemudian diukur konsentrasi awal gas (C_0). Setelah itu, sampel papan partikel dimasukkan ke dalam chamber, dan bila diperlukan, sedikit gas polutan atau asap uji dimasukkan untuk menghasilkan kondisi udara tercemar. Chamber kemudian ditutup rapat, dan pembacaan konsentrasi gas dilakukan secara berkala pada waktu tertentu (misalnya 30, 60, dan 120 menit) untuk memperoleh nilai konsentrasi akhir (C_t).

Efisiensi adsorpsi gas dihitung menggunakan rumus sederhana:

$$\%R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

C_0 = Konsentrasi awal gas sebelum kontak dengan sampel (ppm).

C_t = Konsentrasi gas setelah waktu t (ppm), yaitu setelah proses adsorpsi berlangsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Papan partikel yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan inovasi pemanfaatan limbah ampas tebu dan biomassa lignoselulosa sebagai bahan dasar pembuatan papan partikel. Penggunaan kedua bahan di atas merupakan bentuk upaya untuk mengatasi banyaknya limbah ampas tebu yang mencemari lingkungan. Tak hanya itu, peneliti juga menambahkan material komposit seperti zeolit dan karbon aktif sebagai upaya adsorpsi terhadap gas polutan. Hasil penelitian ini didasarkan pada indikator efektivitas produk sebagai berikut:

1. Uji Ketahanan

Berdasarkan pengujian ketahanan beban dengan acuan prinsip ASTM D1037-12, papan partikel mulai menunjukkan deformasi awal pada beban ≥ 10 kg, dan belum mengalami kerusakan struktural hingga beban mencapai 20 kg. Batas minimal ini digunakan sebagai standar kelayakan papan partikel menurut acuan terkait. Pada pengujian ini, sampel menahan beban sebesar 62 kg sebelum mengalami perubahan bentuk. Hal ini menunjukkan bahwa papan partikel ini memiliki daya tahan yang baik, tidak mudah patah, dan tahan terhadap beban yang berat.

2. Uji daya serap air

Pengujian dilakukan dengan cara menghitung seberapa besar papan partikel menyerap air setelah perendaman selama 24 jam. Nilai WA dihitung menggunakan rumus sederhana dari SNI 03-2105-2006, yaitu persentase kenaikan berat sampel setelah direndam dibandingkan berat kering awalnya. Berdasarkan hasil dari uji daya serap air, papan partikel memiliki daya serap air sebesar 36,4%. menandakan kualitas papan yang memenuhi standar karena menunjukkan struktur papan lebih padat, pori-pori lebih sedikit, serta ikatan antar partikel dan resin lebih kuat.



Gambar 9. Uji daya serap air papan

3. Uji adsorpsi gas polutan

Pengujian adsorpsi gas polutan dilakukan dengan menempatkan sampel papan partikel di dalam chamber tertutup, kemudian diberikan paparan gas CO sebesar 86 ppm sebagai konsentrasi awal. Setelah waktu kontak selama 30 menit, konsentrasi gas diukur kembali menggunakan *gas detector*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi gas menurun menjadi 84 ppm, sehingga menunjukkan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 44%. Ini menunjukkan bahwa papan partikel memiliki kemampuan menyerap gas polutan dengan baik sesuai metode pengujian SNI 19-7117.7-2005.



Gambar 10. Kadar CO sebelum uji



Gambar 11. Kadar CO setelah uji

PEMBAHASAN

Papan partikel berbahan dasar limbah ampas tebu dan biomassa lignoselulosa dengan penambahan zeolit serta karbon aktif menunjukkan kualitas yang baik dari segi mekanik, daya serap air, dan kemampuan adsorpsi gas polutan. Hasil uji ketahanan menunjukkan bahwa papan mampu menahan beban hingga 62 kg, menandakan struktur yang kuat dan tahan lama sesuai ASTM D1037-12. Daya serap air sebesar 36,4% menunjukkan bahwa papan memiliki kepadatan yang baik, pori-pori yang sedikit, serta ikatan antarpartikel yang kuat, dan telah memenuhi standar SNI 03-2105-2006. Penambahan zeolit dan karbon aktif juga terbukti mampu menurunkan konsentrasi gas CO dari 86 ppm menjadi 84 ppm dengan efisiensi adsorpsi sebesar 44%, menunjukkan kemampuan papan dalam menyerap polutan sesuai SNI 19-7117.7-2005. Secara keseluruhan, papan ini tidak hanya memanfaatkan limbah, tetapi juga memiliki fungsi struktural sekaligus lingkungan yang baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan zeolit dan karbon aktif pada pembuatan papan partikel berbahan dasar ampas tebu dan biomassa lignoselulosa efektif sebagai material penguat papan partikel sekaligus adsorben terhadap gas polutan. Hal ini dapat ditinjau melalui hasil pengujian kekuatan papan partikel yang sudah memenuhi standar ASTM D1037-12 dimana papan partikel mampu menahan beban sebesar 62 kg sebelum mengalami perubahan bentuk. Hal tersebut juga didukung oleh rendahnya daya serap air yang telah memenuhi SNI 03-2105-2006 sebesar 36,4%. Rendahnya daya serap air menunjukkan bahwa papan partikel memiliki stabilitas dimensi yang baik, tidak mudah mengembang, dan ikatan antarpartikelnya tetap kuat. Hal ini membuat papan lebih tahan lembap, tidak cepat rusak, serta

memiliki kekuatan mekanik dan umur pakai yang lebih tinggi. Selain itu, penambahan material komposit seperti zeolit dan karbon aktif dinilai mampu menyerap gas polutan sesuai dengan SNI 19-7117.7-2005. Papan partikel ini memberikan solusi alternatif untuk mengurangi jumlah limbah ampas tebu di Indonesia. Saran untuk penelitian selanjutnya agar memperbaiki kualitas pressing dan menambah variasi komposisi bahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan nikmat sehat dan nikmat iman, sehingga peneliti dapat menyelesaikan penelitian terintegrasi di SMA Trensains Muhammadiyah Sragen ini. Kami dari anggota tim peneliti SMA Trensains Muhammadiyah Sragen ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada JISQu atas kesempatan yang diberikan untuk mengirimkan hasil penelitian kami. Kami merasa sangat terhormat dapat belajar dan memperoleh pengalaman lebih dalam tentang penelitian melalui JISQu sebagai bagian dari proses pengembangan diri kami. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada pembimbing kami, Ustazah Fatichah Lutfi Zata Aqmar, S.Pd., dan Ustaz Agus Widayoko, M.Pd., Gr., atas bimbingan, kesabaran, dan dukungan yang tak ternilai. Terima kasih pula kepada seluruh guru dan staf di SMA Trensains Muhammadiyah Sragen yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- Dukarska, D., Rogoziński, T., Antov, P., Kristak, L., Kmiecik, J., & Kristak, L. (2021, December). Characterisation of Wood Particles Used in the Particleboard Production as a Function of Their Moisture Content. *Materials*, 15(1). doi:10.3390/ma15010048
- Ergun, M. E., Özlüsoylu, İ., İstek, A., Can, A., Can, A., & İstek, A. (2023). Analysis and Impact of Activated Carbon Incorporation into Urea-Formaldehyde Adhesive on the Properties of Particleboard. *Coatings*, 13(9), 1476. doi:https://doi.org/10.3390/coatings13091476
- Hidayat, E., Yoshino, T., Yonemura, S., Mitoma, Y., Harada, H., & Yoshino, T. (2023). A Carbonized Zeolite/Chitosan Composite as an Adsorbent for Copper (II) and Chromium (VI) Removal from Water. *Materials*, 16(6), 2532. doi:https://doi.org/10.3390/ma16062532
- Li-An'Amie, N. L., & Nugraha, A. (2014). Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Melalui Desain Produk Perlengkapan Rumah. *Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain*, 3(1).
- Mahmud, M. A., & Anannya, F. R. (2021, August 13). Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. *National Library Of Medicine*, 7(8). doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07771.
- Medykowska, M., Wiśniewska, M., Karpisz, K. S., Galaburda, M., Oranska, O., & Panek, R. (2024). Green Synthesis and Efficient Adsorption: Na-X Zeolite vs. C/Mn/SiO₂ Composite for Heavy Metals Removal. *Materials*, 17(4), 954. doi:https://doi.org/10.3390/ma17040954
- Mohammed, F., Shaban, M., Zaki, S. K., Abd-Elsamie, M. S., Sayed, R., Zayed, M., & Khalid, N. (2022, October 27). Activated carbon derived from sugarcane and modified with natural zeolite for efficient adsorption of methylene blue dye: experimentally and theoretically approaches. *Sci Rep*, 18031. doi:https://doi.org/10.1038/s41598-022-22421-8

Nugroho, W., & Purwoto, S. (2013, January 15). REMOVAL KLORIDA, TDS DAN BESI PADA AIR PAYAU MELALUI PENUKAR ION DAN FILTRASI CAMPURAN ZEOLIT AKTIF DENGAN KARBON AKTIF. *Jurnal Teknik UNIPA*, 11(1). doi:<https://doi.org/10.36456/waktu.v11i1.861>

Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. (2024). *ANALISIS KINERJA PERDAGANGAN GULA* (Vol. 14). PUSAT DATA DAN SISTEM INFORMASI PERTANIAN SEKRETARIAT JENDERAL KEMENTERIAN PERTANIAN.

WHO. (2023). Air Pollution. *World Health Organization*.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
