

Karakterisasi dan Aplikasi Arang Aktif Batang Pisang untuk Adsorpsi Remazol Brilliant Blue dalam Limbah Industri Batik

Junita Darmawarni^{1*}, Farid Ramadhan², Sutanto³, Siti Warnasih⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

Email: ¹junitadarma@gmail.com, ²faridramadhan42@gmail.com, ³sutanto_psl@yahoo.co.id,

⁴tetisyahrulyati@unpak.ac.id

Abstract

The batik industry produces waste containing dyes from the process of dyeing batik cloth. Remazol brilliant blue (RBB) is a reactive dyestuff, used in the fabric dyeing process. RBB levels in waste can be reduced by means of adsorption using activated banana stem charcoal. This study aims to make, characterize and test the quality of activated charcoal from banana stems, determine the optimum conditions, adsorption capacity and RBB adsorption isotherm model and its application in absorbing RBB in Bogor batik industrial waste. The results showed that the intensity of the functional groups in the FTIR spectrum of activated charcoal was greater, with the surface morphology in SEM indicating that the pores of the activated charcoal were more open than the charcoal before activation. The quality of activated banana stem charcoal meets the requirements of SNI No.06-3730-1995 for 0.63% moisture content, 13.30% volatile matter content, 80.67% carbon content and 88.65 mg/g methylene blue absorption capacity. Optimum adsorption conditions occurred at pH 8, contact time 120 minutes, and 1 gram weight of activated charcoal for 50 mL of batik waste. The adsorption process suitable for the adsorption of remazol brilliant blue is the Freundlich isotherm with a maximum adsorption capacity of 10.7411 mg/g and an adsorption efficiency of 96.29%. Characterization of batik waste after adsorption meets the requirements of PermenLHK No.16 of 2019 for parameters pH 8.37, color test 194.3 PtCo and Total Suspended Solid (TSS) 38.6 mg/L.

Keywords: Activated Charcoal, Banana Stem, Batik Waste, Freundlich Adsorption Isotherm, Remazol Brilliant Blue.

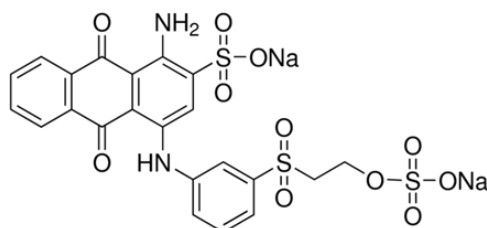
Abstrak

Industri batik menghasilkan limbah yang mengandung zat warna dari proses pewarnaan kain batik. Remazol brilliant blue (RBB) merupakan zat warna reaktif, yang digunakan dalam proses pewarnaan kain. Kadar RBB dalam limbah dapat dikurangi dengan cara adsorpsi menggunakan arang batang pisang yang telah diaktivasi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat, mengkarakterisasi dan menguji kualitas arang aktif dari batang pisang, menentukan kondisi optimum, kapasitas adsorpsi dan model isoterm adsorpsi RBB serta aplikasinya dalam menyerap RBB pada limbah industri batik Bogor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas gugus fungsi pada spektrum FTIR arang aktif lebih besar, dengan morfologi permukaan pada SEM menunjukkan pori-pori arang aktif lebih terbuka dibandingkan arang sebelum aktivasi. Kualitas arang batang pisang aktif memenuhi persyaratan SNI No.06-3730-1995 untuk kadar air 0,63%, kadar zat terbang 13,30%, kadar karbon 80,67% dan daya serap metilen biru 88,65 mg/g. Kondisi adsorpsi optimum terjadi pada pH 8, waktu kontak 120 menit, dan berat arang aktif 1 gram untuk 50 mL limbah batik. Proses adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi remazol biru cemerlang adalah isoterm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi maksimum 10,7411 mg/g dan efisiensi adsorpsi 96,29%. Karakterisasi limbah batik setelah adsorpsi memenuhi persyaratan PermenLHK No.16 Tahun 2019 untuk parameter pH 8,37, uji warna 194,3 PtCo dan Total Padatan Tersuspensi (TSS) 38,6 mg/L.

Kata Kunci: Arang Aktif, Batang Pisang, Limbah Batik, Isoterm Adsorpsi Freundlich, Remazol Biru Cemerlang.

1. PENDAHULUAN

Industri batik diketahui menghasilkan limbah yang mengandung zat warna dari proses pencelupan dan pencucian kain batik. Salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri ini adalah *Remazol Brilliant Blue* (RBB), yang termasuk dalam jenis zat warna reaktif untuk proses pencelupan pada kain (Noorikhlas, 2008). Zat warna RBB memiliki gugus kromofor yang mampu memberikan warna-warna cerah dan menarik pada kain batik. Selain itu, sifat RBB yang tidak mudah luntur menjadikannya sangat digemari dalam proses pewarnaan kain. RBB juga memiliki ketahanan tinggi terhadap proses oksidasi kimia karena kestabilan struktur aromatik *anthraquinon* yang dimilikinya. Struktur kimia Remazol Brilliant Blue disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Remazol Brilliant Blue
(Sumber: Noorikhlas, 2008)

Hasil karakterisasi limbah pewarna dan total limbah dari industri batik di Kota Bogor menunjukkan bahwa kandungan pencemar yang dihasilkan telah melebihi baku mutu yang diperbolehkan sesuai dengan PermenLHK No.16 Tahun 2019 (Kholisoh, 2022). Kondisi ini menandakan bahwa aktivitas industri batik di wilayah tersebut berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kualitas lingkungan perairan sekitar. Apabila tidak ditangani, pembuangan limbah yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan pencemaran air dan kerusakan ekosistem akuatik. Oleh karena itu, pengolahan air limbah industri batik menjadi langkah penting yang harus dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Upaya ini merupakan bentuk pencegahan agar kualitas air di Kota Bogor tetap terjaga dan tidak menimbulkan masalah lingkungan di masa mendatang (Kholisoh, 2022).

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna adalah adsorpsi, yaitu suatu teknik yang efisien dalam mengatasi permasalahan kontaminasi limbah cair domestik maupun industri. Metode ini dianggap efektif karena mampu menghilangkan bau dari limbah cair secara signifikan. Selain itu, proses adsorpsi juga dapat menurunkan kadar zat warna dari larutan dengan sangat baik. Keunggulan lainnya adalah bahwa metode ini tidak mengubah zat warna yang teradsorpsi menjadi senyawa lain yang berpotensi lebih berbahaya. Dengan demikian, adsorpsi menjadi salah satu alternatif pengolahan limbah cair yang aman dan ramah lingkungan (Setyaningtyas & Roy, 2007).

Dengan melakukan proses aktivasi pada arang berbahan dasar batang pisang selama 2 jam menggunakan aktivator *NaOH* 5% dan dilanjutkan dengan aktivasi fisika selama 1 jam pada suhu 500 °C, diperoleh arang aktif yang memenuhi standar kualitas sesuai SNI No. 06-3730-1995. Proses aktivasi kimia dan fisika tersebut bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan serta memperbanyak pori-pori pada arang sehingga kemampuan adsorpsinya semakin optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa arang aktif yang dihasilkan memiliki daya serap I_2 sebesar 825,27 mg/g. Nilai daya serap tersebut menandakan kualitas arang aktif yang tinggi serta sesuai dengan persyaratan mutu arang aktif berdasarkan standar nasional. Dengan demikian, batang pisang berpotensi menjadi bahan baku alternatif dalam pembuatan arang aktif (Syahrir, 2020).

Tanaman pisang merupakan bahan alam yang murah, mudah diperoleh, dan dapat diperbarui sehingga memiliki potensi pemanfaatan yang luas. Namun, bagian dari tanaman pisang seperti batangnya masih jarang dimanfaatkan oleh masyarakat. Batang pisang, khususnya jenis pisang kepok, sebenarnya berpotensi digunakan sebagai bahan baku arang aktif. Hal ini disebabkan oleh kandungan selulosa yang cukup tinggi pada batang pisang kepok, yaitu sekitar 49,66%–55,6%. Kandungan selulosa yang tinggi tersebut menjadikan batang pisang kepok sebagai sumber karbon yang baik untuk proses pembuatan arang aktif (Pine, 2021).

Pada penelitian ini akan dilakukan serangkaian tahapan yang meliputi karakterisasi, uji kualitas, optimasi, serta penentuan model isotherm adsorpsi dari arang aktif berbahan batang pisang berukuran 100 mesh. Proses aktivasi dilakukan secara kimia selama 2 jam menggunakan aktivator *NaOH* 5% dan dilanjutkan dengan aktivasi fisika selama 1 jam pada suhu 500 °C. Arang aktif yang dihasilkan akan diuji kemampuannya dalam mengadsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue*. Selain itu, penelitian ini juga mencakup penerapan arang aktif tersebut pada limbah cair batik yang berasal dari Industri Batik Bogor. Limbah cair tersebut dipilih karena dalam proses pewarnaannya menggunakan zat warna *Remazol Brilliant Blue* sehingga relevan untuk menguji efektivitas adsorpsi arang aktif yang dikembangkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *oven*, *furnace*, *SEM*, *FTIR*, *spektrofotometer UV-VIS*, *analytical balance Mettler Toledo*, botol cokelat, piala gelas, corong kaca, kotak timbang, cawan porselen, desikator, *magnetic stirrer*, *stirrer plate*, *mesh* #100, pipet volumetrik, erlenmeyer, buret, botol *Winkler*, *DO meter*, *pH meter*, inkubator, dan *shaker*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain batang pisang kepok, *Remazol Brilliant Blue* (limbah cair industri batik Bogor), *NaOH*, *HCl*, aquadest, biru metilen, kertas saring *Whatman*, asam sulfat, air pengencer BOD, larutan bibit BOD, serta standar warna *Pt-Co*.

2.2 Pembuatan Arang Aktif

Batang pisang dicuci hingga bersih, kemudian dipotong-potong dan dikeringkan di bawah paparan sinar matahari selama ± 7 jam per hari selama ± 1 minggu. Setelah itu, dilakukan proses pengovenan pada suhu 150°C selama 24 jam. Batang pisang kering selanjutnya dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 2 jam (Hidayah, 2012). Arang yang dihasilkan kemudian dihaluskan dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Selanjutnya dilakukan aktivasi kimia menggunakan *NaOH* 5% selama 2 jam dengan perbandingan 1:3. Hasil aktivasi kemudian disaring, dicuci menggunakan *aquadest* hingga mencapai pH 7, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C. Setelah itu, dilakukan aktivasi fisika selama 1 jam dalam *furnace* pada suhu 500°C, kemudian didinginkan dalam desikator (Syahrir, 2020).

2.3 Karakterisasi Arang Aktif Batang Pisang

Karakterisasi arang aktif batang pisang dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

2.4 Uji Standar Mutu Arang Aktif

Uji standar mutu arang aktif dilakukan sesuai dengan SNI No.07-3730-1995, yang meliputi pengujian kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon, serta uji daya serap metilen biru.

2.5 Optimasi Kondisi Adsorpsi Arang Aktif

Penentuan pH optimum dilakukan dengan memasukkan 1 gram arang aktif ke dalam 50 mL larutan *Remazol Brilliant Blue* 50 mg/L yang telah diatur pH-nya mulai dari 5, 6, 7, 8, hingga 9. Larutan ditempatkan dalam labu Erlenmeyer 100 mL. Pengaturan pH dilakukan dengan menambahkan *HCl* 0,1 N atau *NaOH* 0,1 N. Selanjutnya, dilakukan penentuan waktu kontak optimum menggunakan 1 gram arang aktif pada 50 mL larutan *Remazol Brilliant Blue* 50 mg/L dengan pH optimum yang telah ditentukan. Penentuan bobot optimum dilakukan dengan variasi massa arang aktif 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 gram pada 50 mL larutan *Remazol Brilliant Blue* 50 mg/L. Proses optimasi dilakukan dengan pengadukan pada kecepatan 150 rpm. Hasilnya kemudian disaring dan absorbansi diukur pada panjang gelombang optimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

2.6 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Arang aktif yang telah diaktivasi ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam 5 Erlenmeyer, masing-masing berisi 50 mL larutan *Remazol Brilliant Blue* dengan konsentrasi 25, 50, 75, 100, dan 125 mg/L. Campuran arang aktif dan larutan zat warna diatur pada pH optimum, kemudian diaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 150 rpm. Setelah itu, campuran disaring, filtrat diambil, dan absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

2.7 Aplikasi pada Limbah Batik

Arang aktif dengan bobot optimum dimasukkan ke dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 50 mL limbah zat warna batik. Campuran diaduk pada kecepatan 150 rpm selama waktu kontak optimum dengan kondisi pH optimum. Hasil adsorpsi kemudian disaring menggunakan kertas saring, dan filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Limbah zat warna batik terlebih dahulu diencerkan 200 kali (Sumarni, 20212). Selain itu, dilakukan karakterisasi limbah industri batik sebelum dan sesudah proses adsorpsi berdasarkan baku mutu *PermenLHK No.16 Tahun 2019*. Parameter yang diuji meliputi warna, pH, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Total Suspended Solid (TSS)*, serta kadar *Remazol Brilliant Blue* sesuai tujuan penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rendemen Arang Aktif

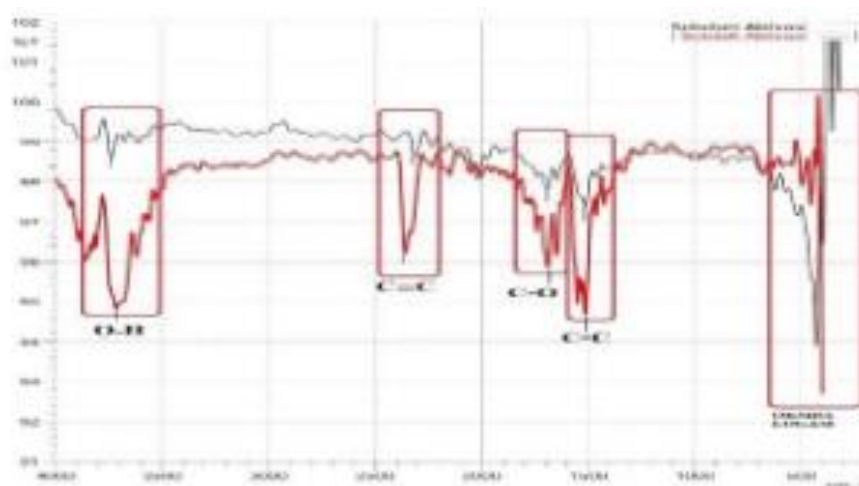
Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh arang hasil karbonisasi pada suhu 500°C selama 2 jam sebanyak 558 gram dari 27,3 kg batang pisang dengan kadar air sebesar 93,4%. Setelah melalui proses aktivasi kimia dan fisika, dihasilkan arang aktif sebanyak 517 gram dengan rendemen sebesar 1,89%. Secara fisik, arang aktif batang pisang berwarna hitam (Gambar 2), berukuran partikel 100 mesh, dan termasuk dalam kategori arang aktif butiran. Aktivasi kimia dilakukan menggunakan *NaOH* sebagai aktivator. Sebagai basa kuat, *NaOH* diharapkan mampu melarutkan pengotor dan mineral organik yang menutupi pori-pori, sehingga luas permukaan bertambah, ukuran pori menjadi lebih besar, dan jumlah gugus fungsi pada arang aktif meningkat (Krismayanti, 2019).



Gambar 2. Batang Karbon Aktif (Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

3.2 Karakterisasi Arang Aktif

Berdasarkan spektrum *FTIR* yang ditunjukkan pada Gambar 3, terlihat adanya peningkatan intensitas penyerapan (area) pada arang aktif setelah proses aktivasi dibandingkan dengan sebelum aktivasi.



Gambar 3. Spektrum *FTIR* Arang Aktif Batang Pisang Sebelum dan Sesudah Aktivasi
(Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025)

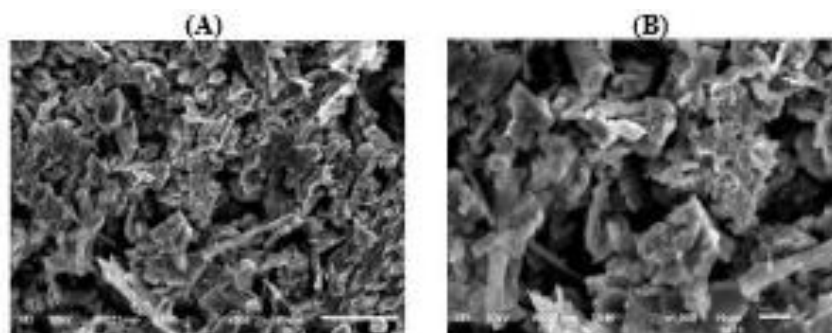
Aktivasi berperan dalam memperbesar daya serap serta meningkatkan potensi karbon aktif dalam mengikat senyawa-senyawa pengotor. Pada karbon yang diaktivasi menggunakan basa kuat *NaOH*, terjadi peregang gugus hidroksil (Lestari, 2022). Hal ini ditunjukkan oleh spektrum *FTIR* dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 3740,04 cm^{-1} yang menandakan keberadaan gugus -OH (hidroksil). Serapan pada bilangan gelombang 2358,02 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus asetil ($\text{C}\equiv\text{C}$), sedangkan serapan pada bilangan gelombang 1689,67 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus karbonil (C=O). Pada rentang bilangan gelombang 1500–1600 cm^{-1} , terdapat serapan ikatan C=C yang menandakan semakin murninya unsur karbon akibat peningkatan kadar karbon (Mentari, 2018). Selain itu, pada bilangan gelombang <500 cm^{-1} muncul serapan yang berasal dari oksida logam (*NaO*). Hal ini diduga disebabkan oleh masih adanya sisa *NaOH* yang tertinggal pada permukaan arang aktif meskipun telah melalui proses aktivasi fisika. Dengan demikian, gugus fungsi arang aktif batang pisang yang teridentifikasi dari spektrum *FTIR* pada Gambar 3 dapat dijabarkan sebagai berikut:

Tabel 1. Spektrum FTIR Karbon Aktif Berbasis Batang Pisang Sebelum dan Sesudah Aktivasi

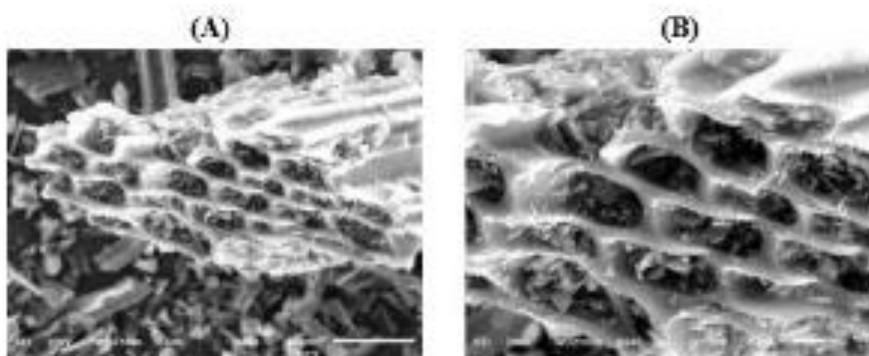
Jenis Ikatan (Gugus Fungsional)	Bilangan gelombang (Cm-1)	Intensitas Penyerapan (Area)	
		Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi
O-H	3750-3000	74,170	275,657
-C-C-	2400-2100	79,506	168,502
C=O	1900-1650	109,766	120,581
C=C Aromatic and Alifatik Oksida	1675-1500	232,065	349,187
Logam	<500	172,541	66,718

Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025

Berdasarkan hasil karakterisasi *SEM*, terlihat adanya perbedaan yang cukup jelas pada struktur pori karbon aktif dari batang pisang sebelum dan sesudah proses aktivasi. Pada Gambar 4, karbon aktif sebelum aktivasi menunjukkan struktur pori yang lebih padat dibandingkan dengan karbon yang telah mengalami aktivasi kimia maupun fisika, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5A, dengan perbesaran 500×, karbon aktif batang pisang tampak memiliki struktur pori yang lebih terbuka. Selanjutnya, pada perbesaran 1000× (Gambar 5B), pori-pori terlihat lebih jelas dengan bentuk rongga yang lebih lebar.



Gambar 4. Hasil SEM Arang Aktif Batang Pisang Sebelumnya Aktivasi Perbesaran 500x (A) Dan 1000x (B)



Gambar 5. Hasil SEM Arang Aktif Batang Pisang Sesudahnya Aktivasi Perbesaran 500x (A) Dan 1000x (B)

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

3.3 Kualitas Arang Aktif

Arang aktif yang diperoleh diuji kualitasnya berdasarkan standar SNI No. 06-3730-1995, yang meliputi pengujian kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon murni, serta daya serap terhadap *methylene blue*. Hasil pengujian kualitas arang aktif berbentuk butiran dari batang pisang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Kualitas Mutu Butiran Arang Aktif Batang Pisang

Parameter	Standard Requirement	Result	Remarks
Moisture Content	Max. 4.5%	0.63%	Meets standard
Ash Content	Max. 2.5%	5.41%	Does not meet
Volatile Matter	Max. 15%	13.30%	Meets standard
Fixed Carbon	Min. 80%	80.67%	Meets standard
Methylene Blue Adsorption	Min. 60 mg/g	88.65 mg/g	Meets standard

Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025

Penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari arang aktif. Sifat yang sangat higroskopis inilah yang menyebabkan arang aktif digunakan sebagai adsorben. Semakin rendah kadar air menunjukkan sedikitnya air yang tertinggal dan menutupi pori arang aktif (Syahrir et al., 2020). Pada penelitian ini, didapatkan hasil kadar air sebesar 0,63% yang memenuhi syarat SNI 06-3730-1995, yaitu maksimal sebesar 4,5%.

Kadar abu merupakan banyaknya kandungan oksida logam yang terdiri dari mineral-mineral dalam suatu bahan yang tidak dapat menguap pada proses pengabuan. Kadar abu sangat berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif. Keberadaan abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori karbon aktif, sehingga luas permukaan karbon aktif menjadi berkurang (Laos et al., 2016). Pada penelitian ini, didapatkan hasil kadar abu sebesar 5,41% yang belum memenuhi syarat SNI 06-3730-1995, yaitu maksimal sebesar 2,5%. Kadar abu yang tinggi dapat disebabkan karena masih terdapat *NaOH* yang tertinggal saat proses pencucian setelah aktivasi kimia, dimana *NaOH* digunakan sebagai aktivator. Menurut Laos et al. (2016), kandungan abu dapat berupa kalsium, kalium, magnesium, dan natrium yang dapat menutup dan menghalangi pori-pori arang aktif. Peningkatan kadar abu dapat terjadi akibat terbentuknya garam-garam mineral pada saat proses pengarangan yang bila dilanjutkan akan membentuk partikel-partikel halus dari garam mineral tersebut. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan bahan mineral yang terdapat di dalam bahan awal biomassa pembuat karbon.

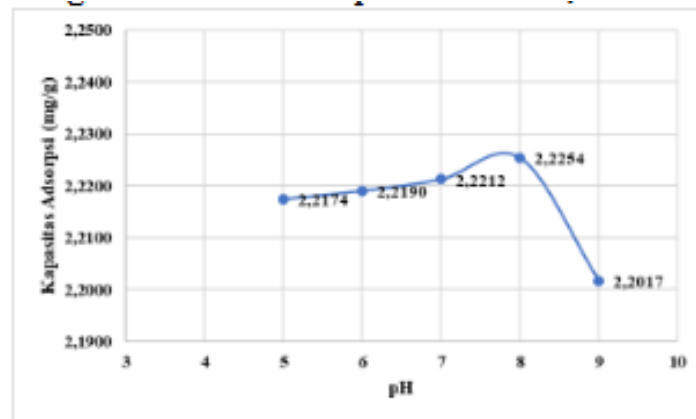
Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh nilai persentase kadar air, abu, uap, dan juga oleh kandungan selulosa serta lignin yang dapat diubah menjadi karbon. Semakin tinggi nilai karbon terikat pada arang aktif, maka semakin tinggi kemurnian karbon bila dibandingkan dengan arang sebelum diaktifkan. Hal ini karena senyawa non-karbon telah banyak hilang pada proses aktivasi (Lestari, 2022). Pada penelitian ini, didapatkan hasil kadar karbon sebesar 80,67% yang memenuhi syarat SNI 06-3730-1995, yaitu minimal sebesar 80%.

Penentuan kadar zat menguap bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang belum menguap pada saat karbonisasi dan aktivasi, tetapi menguap pada suhu 950°C. Dengan demikian, dapat diketahui besarnya kandungan zat selain karbon pada permukaan arang aktif (Syahrir et al., 2020). Pada penelitian ini, didapatkan hasil kadar zat menguap sebesar 13,30% yang memenuhi syarat SNI 06-3730-1995, yaitu maksimal sebesar 15%.

Adsorpsi biru metilen telah banyak dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi arang aktif. Penetapan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif dalam menyerap larutan berwarna dan menentukan luas permukaan pori arang aktif (Lazulva, 2013). Semakin besar kapasitas adsorpsinya, maka semakin besar pula luas permukaan arang aktif. Penentuan daya serap terhadap biru metilen dilakukan dengan menggunakan *Spektrofotometer UV-Vis* pada panjang gelombang 664 nm, sesuai dengan hasil pengukuran panjang gelombang maksimum. Pada penelitian ini, didapatkan hasil daya serap terhadap biru metilen sebesar 88,65 mg/g yang memenuhi syarat SNI 06-3730-1995, yaitu minimal sebesar 60 mg/g.

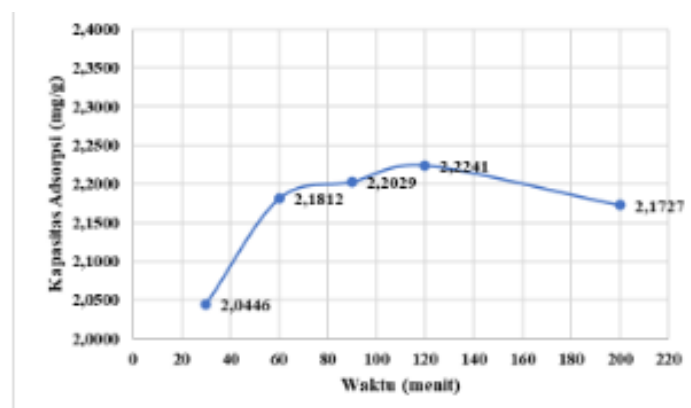
3.4 Kondisi Optimum Adsorpsi Arang Aktif Batang Pisang terhadap *Remazol Brilliant Blue*

Salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi arang aktif terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue* (RBB) adalah pH. Berdasarkan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 6, pH optimum arang aktif untuk adsorpsi RBB adalah pH 8, dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,2254 mg/g serta efisiensi adsorpsi mencapai 87,87%.



Gambar 6. Grafik pengaruh pH terhadap Kapasitas Adsorpsi
(Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025)

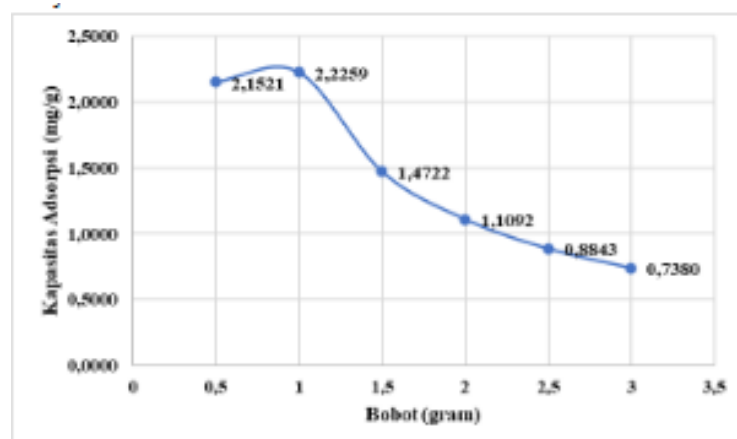
Pada pH di bawah 8, penyerapan yang terjadi relatif rendah. Hal ini dikarenakan pada kondisi pH rendah terdapat ion H^+ dari larutan yang akan mencegah terjadinya interaksi zat warna dengan gugus aktif pada permukaan adsorben, karena adanya persaingan antara ion H^+ dan gugus aktif dari arang aktif hasil sintesis untuk berikatan dengan larutan zat warna yang terdisosiasi menjadi ion-ionnya (Maslahat et al., 2019). Hasil penyerapan pada pH 8 mengalami kenaikan, hal ini terjadi karena permukaan adsorben cenderung terionisasi dengan melepaskan ion H^+ sehingga permukaan adsorben menjadi bermuatan negatif. Keadaan tersebut menyebabkan terjadinya interaksi elektrostatik antara permukaan arang aktif dengan zat warna. Penyerapan terendah terjadi pada pH 9, dikarenakan pada pH tersebut ion OH^- yang terlalu banyak mengakibatkan interaksi antara ion OH^- dengan zat warna mengalami tolak-menolak sehingga daya serapnya semakin berkurang. Pada kondisi pH terlalu basa (>8), jumlah proton relatif kecil dan menyebabkan peluang terjadinya pengikatan zat warna menjadi besar, sehingga ion-ion zat warna dapat membentuk endapan hidroksida dan menurunkan jumlah zat warna yang terserap (Maghfiroh, 2016).



Gambar 7. Grafik pengaruh waktu terhadap kapasitas adsorpsi
(Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025)

Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa waktu optimum adsorpsi yang diperoleh adalah 120 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,2241 mg/g dan efisiensi adsorpsi sebesar 87,82%. Pada waktu kontak 200 menit terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Penurunan adsorpsi tersebut menunjukkan bahwa zat warna yang teradsorpsi meningkat seiring bertambahnya waktu kontak dan mengalami penurunan setelah tercapainya waktu optimum. Gejala ini menandakan terjadinya peristiwa desorpsi. Desorpsi dapat terjadi karena penjerapan zat warna oleh arang aktif akibat adanya interaksi ionik, yang menyebabkan gugus amina ($-NH_2$) pada zat warna *Remazol Brilliant Blue* terprotonasi menjadi ion amina ($-NH_3^+$) yang bersifat basa. Dengan demikian, bertambahnya waktu adsorpsi menyebabkan lingkungan proses adsorpsi menjadi semakin basa (Maslahat et al., 2019).

Menurut Maghfiroh (2016), setelah adsorpsi mencapai keadaan setimbang pada waktu kontak optimum, penambahan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat selanjutnya tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penyerapan zat warna. Kontak fisik antara zat warna dengan adsorben menyebabkan zat warna lama-kelamaan terlepas kembali ke dalam larutan. Hal ini jika berlangsung terlalu lama dapat mengakibatkan jumlah zat warna yang terukur semakin besar, yang mengindikasikan penurunan daya serap. Pengaruh jumlah adsorben merupakan parameter penting karena dapat menentukan kapasitas adsorben selama penambahan konsentrasi awal adsorbat. Berdasarkan hasil pada Gambar 8, pada bobot 1,0 gram diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 2,2259 mg/g dengan efisiensi adsorpsi sebesar 87,99%.



Gambar 8. Grafik pengaruh Bobot terhadap Kapasitas Adsorpsi
(Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025)

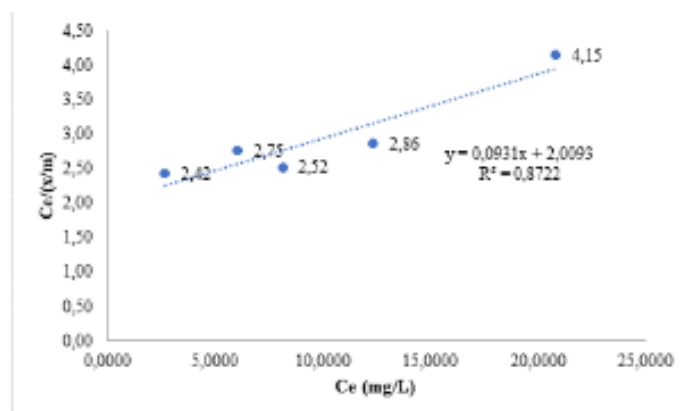
Hal tersebut terjadi karena jumlah adsorben mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin bertambah bobot adsorben, maka adsorben akan mencapai titik jenuh apabila permukaannya telah terisi penuh oleh adsorbat. Menurut Maslahat et al. (2019), peningkatan jumlah adsorben cenderung meningkatkan daya serap terhadap adsorbat. Faktor yang dapat menyebabkan adanya perbedaan daya serap adalah jenis bahan yang digunakan sebagai adsorben dan karakteristik zat yang diadsorpsi, karena setiap adsorben memiliki nilai optimum masing-masing untuk mengadsorpsi suatu zat.

3.5 Penentuan Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

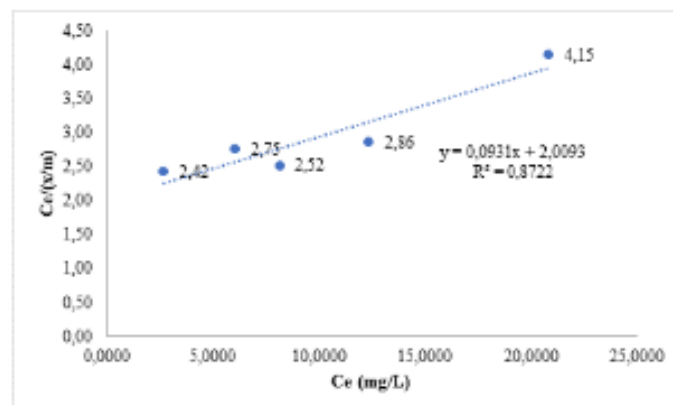
Berdasarkan penelitian ini (Gambar 12 dan 13), dapat ditentukan bahwa adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue* dengan arang aktif batang pisang mengikuti tipe isoterm Freundlich karena nilai linearitasnya lebih besar. Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi yang melibatkan fase padat-cair berlangsung secara fisika, yaitu hanya menempel pada permukaan pori adsorben. Isoterm Freundlich juga mengasumsikan

bahwa permukaan arang aktif bersifat heterogen, membentuk banyak lapisan, terdapat sisi aktif adsorpsi yang memiliki afinitas tinggi, dan bagian lainnya memiliki afinitas rendah.

Adsorpsi secara fisika terjadi terutama karena adanya gaya tarik antara molekul zat terlarut dengan adsorben yang lebih besar daripada gaya tarik antara molekul dengan pelarutnya, sehingga zat terlarut tersebut akan diadsorpsi ke permukaan adsorben (Maslahat et al., 2019). Menurut Masruhin et al. (2018), molekul-molekul yang diadsorpsi secara fisika tidak terikat kuat pada permukaan dan biasanya mengalami proses balik yang cepat, sehingga mudah digantikan oleh molekul lain. Adsorpsi fisika didasarkan pada gaya *Van der Waals* dan dapat terjadi pada permukaan yang bersifat polar maupun non-polar.



Gambar 9. Grafik Isoterm Adsorpsi Langmuir Arang Aktif Batang Pisang
(Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025)



Gambar 10. Grafik Isoterm Adsorpsi Freundlich Arang Aktif Batang Pisang
(Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025)

Nilai konstanta n , K_f , b , dan K_l dapat dihitung dari persamaan regresi Freundlich dan Langmuir untuk zat warna *Remazol Brilliant Blue*, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Nilai n menggambarkan intensitas dari adsorpsi, sedangkan nilai K_f menunjukkan kapasitas adsorpsi dari adsorben. Nilai b menggambarkan jumlah yang dijerap atau kapasitas adsorpsi untuk membentuk lapisan sempurna pada permukaan adsorben. Adapun nilai K_l merupakan konstanta yang bertambah seiring dengan kenaikan massa molekuler, yang menunjukkan kekuatan ikatan molekul adsorbat pada permukaan adsorben (Maslahat et al., 2019). Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa kapasitas adsorpsi maksimum arang aktif batang pisang terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue* adalah sebesar 10,7411 mg/g.

Tabel 3. Nilai Konstanta Persamaan Regresi Freundlich dan Langmuir

Model	Equation	R ²	Constant	Value
Freundlich	$\log (x/m) = \log K + 1/n \log C_e$	6,670833	n	12.990
	$y = 0.7698x - 0.2514$		Kf	3,892361
Langmuir	$C_e/(x/m) = (1/b) \cdot C_e + 1/K_b$	6,056944	b	107.411
	$y = 0.0931x + 2.0093$		Kl	0,321528

Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025

3.6 Aplikasi Arang Aktif terhadap *Remazol Brilliant Blue* (RBB) pada Limbah Industri Batik

Berdasarkan Tabel 4, ditunjukkan bahwa penggunaan arang aktif batang pisang pada limbah batik Bogor memberikan hasil yang cukup optimal dalam mengadsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue*. Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi yang melibatkan fase padat-cair berlangsung secara fisika, yaitu hanya menempel pada permukaan pori adsorben. Selain itu, isoterm Freundlich juga mengasumsikan bahwa permukaan arang aktif bersifat heterogen, membentuk banyak lapisan, terdapat sisi aktif adsorpsi dengan afinitas tinggi, serta bagian lainnya memiliki afinitas yang rendah.

Tabel 4. Hasil Aplikasi Arang Aktif terhadap RBB dalam Limbah Batik Bogor

Type of Carbon	Initial Concentration (mg/L)	Carbon Weight (g)	Final Concentration (mg/L)	Adsorption Efficiency (%)
Activated	596.85	10.066	22.15	96.29.00
Non-Activated	596.85	10.015	511.33.00	14.33

Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025

Terjadi penurunan konsentrasi zat warna RBB dalam limbah industri batik setelah diadsorpsi menggunakan arang aktif batang pisang, yaitu dari 596,85 mg/L menjadi 22,15 mg/L dengan efisiensi adsorpsi sebesar 96,29%. Karakterisasi limbah industri batik Bogor dilakukan untuk mengetahui hasil pH, suhu, uji warna, *Total Suspended Solid* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dari limbah sebelum dan sesudah adsorpsi sesuai dengan PermenLHK No. 16 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Tekstil. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi adsorpsi arang aktif batang pisang terhadap parameter kualitas limbah industri batik, selain terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue*. Diperoleh hasil karakterisasi limbah industri batik sebelum dan sesudah adsorpsi sebagai berikut:

Tabel 5. Karakterisasi Limbah Batik Sebelum dan Sesudah Adsorpsi

Parameter	Before Adsorption	After Adsorption	Standard	% AE
pH	09.05	08.37	6–9	–
Temp (°C)	23.06	23.09	–	–
Color (PtCo)	2146.00.00	194.03.00	<200	90.94
TSS (mg/L)	1677.04.00	38.06.00	<50	97.70
COD (mg/L)	4111.04.00	1657.08.00	<150	59.68
BOD (mg/L)	658.04.00	304.05.00	<60	53.75

Sumber: Data Diolah oleh Penulis, 2025

Hasil karakterisasi pH dari limbah industri batik Bogor sebelum adsorpsi adalah 9,5 dan sesudah adsorpsi adalah 8,37, yang telah memenuhi syarat PermenLHK No. 16 Tahun 2019 yaitu pada rentang 6–9. Hasil adsorpsi uji warna pada limbah industri batik Bogor menunjukkan efisiensi adsorpsi sebesar 90,94%, yaitu dari 2146,0 PtCo menjadi 194,3 PtCo. Hasil ini telah memenuhi syarat PermenLHK No. 16 Tahun 2019 yaitu maksimal

200 PtCo. Meningkatnya efisiensi adsorpsi arang aktif terhadap warna dapat terjadi karena zat warna mampu menempati pori-pori arang aktif yang kosong hingga tercapai kondisi kesetimbangan (Khair et al., 2021).

Hasil adsorpsi *Total Suspended Solid* (TSS) pada limbah industri batik Bogor menunjukkan efisiensi adsorpsi sebesar 97,70%, yaitu dari 1677,4 mg/L menjadi 38,6 mg/L. Hasil ini telah memenuhi syarat PermenLHK No. 16 Tahun 2019 yaitu maksimal 50 mg/L. Penurunan TSS dapat terjadi karena TSS bereaksi dengan arang aktif dan membentuk gaya *van der Waals* akibat adanya tarik-menarik antara muatan negatif dari arang aktif yang membawa gugus hidroksil (OH^-) dan muatan positif (H^+) dari TSS. Dengan demikian, koagulan akan terbentuk dan setelah disaring akan terbawa bersama arang aktif (Chairunnisa dan Fuadi, 2023).

Hasil adsorpsi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah industri batik Bogor menunjukkan efisiensi adsorpsi sebesar 59,68%, yaitu dari 4111,4 mg/L menjadi 1657,8 mg/L. Hasil ini belum memenuhi syarat PermenLHK No. 16 Tahun 2019 yaitu maksimal 150 mg/L. Tingginya hasil COD pada limbah batik dapat disebabkan oleh penggunaan bahan kimia seperti NaOH dan Na_2CO_3 dalam proses pewarnaan menggunakan zat warna reaktif (Suliyanthini, 2016).

Hasil adsorpsi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada limbah industri batik Bogor menunjukkan efisiensi adsorpsi sebesar 53,75%, yaitu dari 658,4 mg/L menjadi 304,5 mg/L. Hasil ini belum memenuhi syarat PermenLHK No. 16 Tahun 2019 yaitu maksimal 60 mg/L. Tingginya kadar BOD disebabkan oleh melimpahnya substrat organik dalam air limbah. Parameter BOD digunakan untuk mengukur aktivitas mikroorganisme dalam penggunaan oksigen terlarut yang bertujuan untuk mendegradasi bahan organik yang melimpah di dalam substrat (Kholisoh et al., 2022). Oksigen dalam air limbah digunakan untuk menguraikan senyawa organik. Hal inilah yang menyebabkan oksigen dalam air limbah berkurang secara bertahap dan meningkatkan nilai BOD (Dewi, 2018).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, arang aktif batang pisang berhasil dibuat dengan karakterisasi SEM yang menunjukkan perubahan morfologi, di mana pori-pori arang aktif setelah proses aktivasi lebih terbuka. Hasil karakterisasi FTIR juga memperlihatkan adanya peningkatan intensitas gugus fungsi (O-H , $\text{C}\equiv\text{C}$, C=O , dan C=C) setelah aktivasi. Uji mutu arang aktif batang pisang telah memenuhi standar SNI No. 06-3730-1995 dengan parameter kadar air sebesar 0,63%, kadar zat menguap 13,30%, kadar karbon 80,67%, dan daya serap biru metilen 88,65 mg/g. Kondisi optimum adsorpsi arang aktif batang pisang terhadap zat warna Remazol Brilliant Blue diperoleh pada pH 8, waktu kontak 120 menit, serta bobot adsorben 1 gram untuk 50 mL limbah. Model isoterm yang sesuai untuk adsorpsi Remazol Brilliant Blue adalah isoterm Freundlich dengan nilai R^2 sebesar 0,9606 dan kapasitas adsorpsi maksimum 10,7411 mg/g. Aplikasi arang aktif batang pisang pada limbah industri batik Bogor menunjukkan efisiensi adsorpsi sebesar 96,29%, dengan penurunan konsentrasi zat warna dari 596,85 mg/L menjadi 22,15 mg/L.

Pengolahan lanjutan perlu dilakukan untuk menurunkan kadar COD dan BOD pada limbah industri batik Bogor, misalnya melalui modifikasi metode adsorpsi arang aktif batang pisang dengan kombinasi elektrokoagulasi. Penelitian berikutnya juga disarankan untuk mengkaji ulang proses pencucian setelah aktivasi kimia menggunakan NaOH agar dapat mengurangi pembentukan abu saat aktivasi fisika, sehingga rendemen arang aktif yang dihasilkan dapat lebih optimal.

REFERENCES

- Adyaksana, R. I., & Pronosokodewo, B. G. (2020). Pemanfaatan Arang Aktif Dari Kelapa untuk Pengolahan Limbah Lingkungan Pabrik. *16(2)*, 157–165.
<https://doi.org/10.21107/infestasi.v16i2.8544>
- Chairunnisa, Z. N. & Fuadi, A. M. “Efektivitas Adsorben Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Untuk Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tahu,” *Inovasi Teknik Kimia*, Vol.8, No.1, pp. 17-25, 2023.
- Dewi, R. T. Y. “Penurunan Kadar Bod, Cod, Tss Dan Warna Pada Limbah Industri Batik Kampung Batik Giriloyo Menggunakan Reaktor Kombinasi Anaerob-Aerob Dengan Sistem Batch,” *Skripsi*. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, 2018.
- Hidayah, Nur, dkk. “Adsorpsi Logam Besi (Fe) Sungai Barito Menggunakan Adsorben Dari Batang Pisang,” *Teknik Kimia ITS*, Vol. 1, No. 1, Surabaya, 2012.
- Khair, R. M., dkk. “Penurunan Konsentrasi Warna Limbah Cair Sasirangan Menggunakan Adsorben Limbah Padat Lumpur Aktif Teraktivasi Industri Karet,” *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), pp. 74-83, 2021.
- Kholisoh, S., Wulandari, I., Iryani, A., & Sutanto. Warnasih, S. “Characterization of Batik Industrial Wastewater in Bogor City,” *Helium: Journal of Science and Applied Chemistry*, Vol. 02, No. 01, 2022.
- Krismayanti, N. P. A., dkk. “Sintesis Arang Aktif Dari Limbah Batang Bambu Dengan Aktivator NaOH Sebagai Adsorben Ion Krom (III) Dan Timbal (II),” *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, Vol. 7, No. 2, pp. 189-197, 2019.
- Laos, L. E., Masturi, & Yulianti, I. “Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri,” *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, Vol. V, pp. 135-140, 2016.
- Lestari, D. “Preparasi Karbon Aktif Kulit Durian dengan Aktivator NaOH serta Penyerapannya terhadap Logam Berat Pb(II),” *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, Vol. 11, No. 2, pp. 50-55, 2022.
- Lazulva, dkk. “Uji Kualitas Karbon Aktif Dari Kulit Ubi Kayu (Manihot Escuenta Crantz),” *Jurnal Photon*, Vol. 3, No. 2, pp. 33-37, 2013.
- M. L. “Adsorpsi Zat Warna Tekstil Remazol Brilliant Blue menggunakan Zeolit yang Disintesis dari Abu Layang Batubara,” *Skripsi*. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, 2016.
- Maslahat, M., Arrisujaya, D., & Dwianisa, N. “Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Penyerap Remazol Brilliant Blue dalam Limbah Industri Batik Bogor,” *Seminar Nasional Kimia 2019*, Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, Jilid 2019, pp. 23-31, 2019.
- Masruhin. “Penjerapan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi,” *Journal of Chemical Process Engineering*, Vol. 03, No. 01, 2018.
- Mentari, A. V., Gewa, H., & Seri, M. “Perbandingan Gugus Fungsi Dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) Dan Asam Nitrat (HNO₃),” *Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*, Vol. 7, No. 1, 2018.
- Noorikhlas, F., Widodo, & Ismiyarto. “Analisis Produk Elektrodestruksi Senyawa Penyusun Limbah Batik: Elektrolisis Larutan Remazol Black B,” *Jurnal Kimia*, Semarang, 2008.
- Pine, A. T. D., Base, N. H., & Angelina. “Produksi Dan Karakterisasi Serbuk Selulosa Dari Batang Pisang (Musa paradisiaca L.),” *Jurnal Kesehatan Yamasi Makassar*, Vol. 5, No. 2, pp. 115-120, 2021.

- Setyaningtyas, T. & Roy, A. “Penurunan Kadar Zat Warna Rodamin B Menggunakan Humin Hasil Isolasi dari Tanah Hutan Damar Batu Raden,” *Molekul*, Fakultas Sains dan Teknik, UNSOED, Purwokerto, Vol. 2, No. 2, 2007.
- Sumarni. “Adsorpsi Zat Warna dan Zat Padat Tersuspensi dalam Limbah Cair Batik,” *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III*, 2012.
- Suliyanthini, D. *Ilmu Tekstil*, Jakarta: Rajawali Pers, 2016.
- Syahrir, I., Samosir, D., Destarini, N. A., & Bariah. “Pemanfaatan Limbah Batang Pisang (*Musa Paradisiaca* L) Sebagai Arang Aktif Melalui Proses Aktivasi Menggunakan Aktivator NaOH,” *Prosiding 4th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Samarinda, 2020.