Katalis: Jurnal Penelitian Kimia dan Pendidikan Kimia
Vol. 7, No. 2, Tahun 2024
https://ejurnalunsam.id/index.php/katalis/
e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

APLIKASI *BOX BEHNKEN DESIGN* UNTUK OPTIMASI PARAMETER PROSES PADA EKSPERIMEN PEMANFAATAN LIMBAH KULIT PISANG RAJA SEBAGAI ADSORBEN METHYL ORANGE

Lutfiyatul Mukhlisah[*1], Lintang Alivia Anggerta[2], Lilis Suryani[3]
[1]Teknik Kimia, Universitas Nahdlatul Ulama, Pasuruan
[2]Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Malang
[3]Teknik Kimia, Universitas Nahdlatul Ulama, Pasuruan
*Email: lutfiyatul@unupasuruan.ac.id

Abstrak

Methyl orange merupakan zat pewarna tekstil yang berbahaya terhadap lingkungan sehingga perlu dilakukan treatment. Treatment yang dapat digunakan salah satunya adalah teknik adsorpsi. Adsorpsi dilakukan dengan menggunakan adsorben, salah satunya dengan memanfaatkan limbah kulit pisang raja yang dijadikan karbon aktif dengan cara menambahkan HCl 1 M sebagai aktivator. Penelitian ini diawali dengan pembuatan adsorben dari limbah kulit pisang raja menggunakan variabel parameter proses yang telah ditentukan dan dilakukan analisis hasil penyerapannya menggunakan *methyl orange* 6 ppm sebanyak 25 mL yang kemudian dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian ini kemudian dilakukan optimasi pada kondisi operasi yang digunakan terhadap hasil penyerapan adsorben pada methyl orange menggunakan *Box Behnken Design Methodology.* Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum pada pembuatan adsorben dari limbah kulit pisang raja untuk menghasilkan daya serap adsorpsi yang maksimal terhadap zat *methyl orange*. Kondisi operasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu karbonisasi (400 - 450^{0}C), waktu pengeringan (2 – 5 jam) dan waktu kontak (80 - 120 menit). Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum didapatkan pada penggunaan massa adsorben sebanyak 1,5 gram dengan waktu pengeringan selama 2 jam serta waktu kontak selama 100 menit dimana daya adsorpsi yang dihasilkan sebesar 93,13%.

Kata Kunci: *adsorpsi, kulit pisang raja, methyl orange dan Box Behnken Design.*

Abstract

Methyl orange is a textile dye that is harmful to the environment so it needs to be treated. One of the treatments that can be used is the adsorption technique. Adsorption is carried out using an adsorbent, one of which is by utilizing banana peel waste which is used as activated carbon by adding 1 M HCl as an activator. This study aims to determine the optimum conditions for the adsorption capacity of methyl orange on adsorbents from activated banana peel valleys. The optimum conditions carried out in this study were carbonization temperature (400 - 450^{0}C), drying time (2 - 5 hours) and contact time (80 - 120 minutes). These parameters are designed based on the optimization of the response surface methodology (RSM) which is then randomized using the Box Behnken Design method. The method used in this study is the adsorption method using an adsorbent with 6 ppm methyl orange adsorbate as much as 25 mL then analyzed using a UV-Vis spectrophotometer. The results of the study showed that the optimum condition was an adsorbent mass of 1.5 grams with a contact time of 100 minutes using the adsorbent at a carbonization temperature of 500^{0}C and a drying time of 2 hours with an adsorption power percentage of 93.13%.

Keywords: *adsorpstion, banana pell, methyl orange and Box Behnken Design.*

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan akibat limbah industri semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan sector manufaktur, khususnya industri tekstil, kertas dan farmasi. Salah satu kontaminan utama dalam air limbah industri adalah zat pewarna sintetik seperti *methyl orange* (MO). Pewarna ini bersifat karsinogenik, toksisk dan stabil terhadap cahaya serta oksidasi, sehingga sangat sulit terurai secara alami di lingkungan (Zhu et al., 2020). Dalam konsentrasi rendahpun MO dalam air dapat mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik dan membahayakan Kesehatan manusia (Crini & Lichtfouse, 2019).

Adsorpsi merupakan salah satu metode yang dianggap efektif dalam mengatasi pencemaran zat pewarna, karena metode ini mudah untuk dilakukan, biaya rendah serta memiliki efisiensi penghliangan yang tinggi (Anindya et al,. 2021). Penggunanaan adsorben berbasis biomassa menarik perhatian karena sifatnya yang ramah lingkungan dan ekonomis. Kulit pisang merupakan limbah pertanian yang keberadaannya melimpah di Indonesia, mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin yang memiliki banyak sisi aktif gugus fungsional, sehingga membuat bahan ini berpotensi besar untuk digunakan sebagai arang aktif (Anita et al,. 2021).

Untuk mengoptimalkan proses adsorpsi, diperlukan pendekatan statistika yang dapat mengevaluasi iteraksi antarvariabel serta menentukan kondisi kondisi operasi terbaik. Metode yang efektif dalam merancang eksperimen multifactor dengan percobaan yang relative efisien adalam metode *Response Surface Methodology* (RSM), khususnya *Box Behnken Design* (BBD) (Lintang & Listyana, 2025). BBD dapat digunakan untuk memodelkan dan mengoptimalkan parameter proses seperti pH larutan, waktu kontak, massa adsorben dan konsentrasi adsorbat. Pada penelitian ini, pemodelan dilakukan terhadap suhu karbonisasi, massa adsorben dan waktu kontak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan arang aktif dari kulit pisang raja dalam mengadsorpsi *methyl orange* dari larutan air dan mengoptimalkan parameter proses adsorpsi menggunakan metode *Box Behnken Design*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif pengolahan limbah cair yang lebih efisien, murah serta ramah lingkungan, dan meningkatkan pemanfaatan limbah biomassa local.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan pada bulan desember 2023.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas, oven, furnace, ayakan 100 mesh, hotplate, magnetic stirres, neraca analitik dan spektrofotometer UV-Vis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi antara lain HCl 1 M, kulit pisang raja, *methyl orange* dan akuades.

1. Pembuatan karbon aktif

   Kulit pisang raja kering dikarbonisasi pada variasi suhu yaitu 400 - 500^{o}C (Sri & Ratih, 2020). Kemudian ditumbuk halus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Kulit pisang halus dicampur dan diaduk dengan activator HCl 1 M selama 30 menit sebelum direndam selama 24 jam. Selanjutnya, karbon dicuci hingga pH netral dan dikeringkan dengan variasi waktu 2 – 5 jam.

2. Variasi waktu kontak

   Adsorben sebanyak 5 gram dicampur dengan 25 mL larutan MO 6 ppm. Kemudian dilakukan pengadukan dengan variasi waktu kontak yaitu 80 - 120 menit.

   Langkah berikutnya adalah memasukkan variable yang sudah ditentukan menggunakan perangkat lunak Design Expert 13th versi trial seperti yang dapat dilihat pada table 1.

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

Table 1. Data Variabel Penelitian

Factor	satuan	Tingkat rendah	Tingkat tinggi
A- Waktu pengeringan	Jam	2	5
B- Waktu kontak	Menit	80	120
C- Suhu karbonisasi	^{0}C	400	500

Dari pemodelan menggunakan metode BBD didapat 17 variabel percobaan untuk selanjutnya dilakukan optimasi parameter proses yang digunakan untuk menghasilkan presentase daya adsorpsi MO yang maksimal.

3. Penentuan Presentase Daya Adsorpsi

Rumus berikut digunakan untuk menentukan nilai persentase daya adsorpsi menggunakan hasil nilai adsorpsi yang diperoleh.

$$D\% = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

Keterangan:
D% = daya adsorpsi
Co = konsentrasi awal adsorbat
Ce = konsentrasi adsorbat setelah diserap

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon aktif merupakan adsorben yang paling umum digunakan untuk penanggulangan limbah zat warna. Sebagai alternatif pengolahan untuk limbah zat warna, karbon aktif dapat digunakan untuk penyerap zat warna *methyl orange* karena efisien, kompetitif, dan terjangkau. Penelitian ini menggunakan kulit pisang raja sebagai bahan dasar untuk memproduksi karbon aktif. Hal ini dikarenakan kulit pisang raja mempunyai kandungan karbohidrat yang relatif tinggi yaitu sekitar 59,00 % sedangkan kulit pisang kepok memiliki kandungan karbohidrat, yaitu sekitar 40,47 % (Hernawati & Aryani, 2007). Oleh karena itu, kandungan karbohidrat yang tinggi dari limbah kulit pisang raja tersebut membuatnya menjadi bahan yang lebih baik digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif. (Abdi et al,. 2015).

Pada penelitian ini diperoleh hasil sintesis karbon aktif dari kulit pisang raja dengan fisik berwarna hitam, tidak berbau dan memiliki ukuran 100 mesh. Penambahan larutan HCl 1 M sebagai activator berfungsi untuk meningkatkan luas permukaan karbon aktif sehingga pori-pori yang sebelumnya tidak ada akses dapat membentuk mikropori dan pori-pori yang sudah ada menjadi lebih besar (Rifawany. 2022).

Optimasi adsorpsi *methyl orange* menggunakan karbon aktif kulit pisang raja digunakan variable bebas yaitu suhu karbonisasi, waktu pengeringan dan waktu kontak sehingga dapat dilihat mana yang memberikan hasil adsorpsi yang paling tinggi. Percobaan ini dilakukan sesuai rancangan percobaan RSM *Box Behnken Design*, *methyl orange* yang tidak teradsorpsi diukur dengan spektrofotometer pada Panjang gelombang 470 nm. Berdasarkan rancangan percobaan BBD, berikut merupakan hasil persen efisiensi *methyl orange* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil persen efisiensi adsorpsi *methyl orange* menggunakan metode BBD.

Run	Faktor			Respon
	Waktu Pengeringan (jam)	Waktu Kontak (menit)	Suhu Karbonisasi (^{0}C)	Daya adsorpsi (%)
1	5	100	400	41,92
2	3,5	100	450	59,17
3	3,5	100	450	70,84
4	3,5	80	400	63,94
5	3,5	120	400	66,86
6	2	100	400	90,74
7	2	120	450	86,76
8	5	80	450	82,78
9	3,5	80	500	86,76
10	2	80	450	88,62
11	5	100	500	90,74
12	2	100	500	93,13
13	3,5	120	500	90,21
14	5	120	450	83,84
15	3,5	100	450	71,90
16	3,5	100	450	72,17

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

17	3,5	100	450	72,43

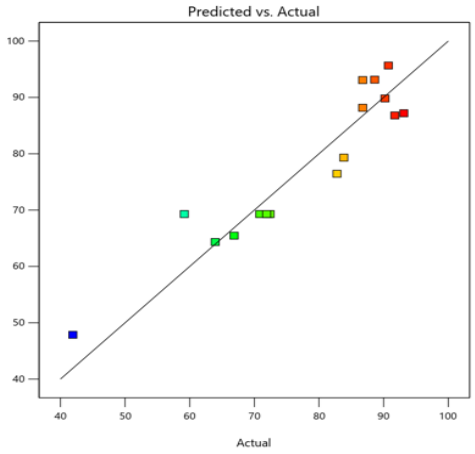
Berdasarkan table 2 terlihat hubungan antara factor penelitian yaitu variasi waktu pengeringan 2; 3,5; dan 5 jam dengan variasi waktu kontak 80, 100, dan 120 menit serta dengan variasi pda suhu karbonisasi 400, 450, dan 500^{0}C diacak menggunakan metode BBD menghasilkan 17 perlakuan percobaan. Sehingga didapat daya serap optimum sebesar 93,13%.

Table 3. analisis Varian (ANOVA) terhadap Hasil Respon

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value	
Model	2800.50	9	311.17	5.82	0.0150	significant
A-Waktu Pengeringan	464.41	1	464.41	8.69	0.0215	
B-Waktu Kontak	3.88	1	3.88	0.0726	0.7954	
C-Suhu	1161.22	1	1161.22	21.72	0.0023	
AB	2.13	1	2.13	0.0398	0.8475	
AC	562.20	1	562.20	10.52	0.0142	
BC	0.0704	1	0.0704	0.0013	0.9721	
A^2	365.51	1	365.51	6.84	0.0347	
B^2	199.35	1	199.35	3.73	0.0948	
C^2	2.44	1	2.44	0.0456	0.8371	
Residual	374.23	7	53.46			

Berdasarkan hasil analisis ANOVA pada table 3, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8821. Ini menunjukkan bahwa model regresi yang dibagun mampumenjelaskan 88,21% variasi dari data respon. Semakin tinggi nilai R^2, maka semakin baik model dalam menjelaskan variasi data (Montgomery, 2017).

Selain itu, Gambar 1 menunjukkan bahwa hubungan antara model optimasi dan data eksperimen melewati regersi garis linier. Ini membuktikan bahwa hasil optimasi model optimasi dan data eksperimen memiliki R^2 mendekati 100 %, menunjukkan bahwa garis tersebut secara umum berupa garis lurus. Garis lurus tersebut mengkorelasikan data eksperimen dan model optimasi (Hapid et al,. 2024). Dengan demikian, dari hasil yang didapat tersebut mengonfirkasi bahwa model optimasi menunjukkan hasil daya adsorpsi MO yang optimum terhadap adsorben arang aktif dari kulit pisang raja. Dapat dilihat pada gambar 2 bahwa warna larutan MO sebelum adsorpsi berwarna orange dan setelah adsorpsi warna larutan menjadi lebih pucat atau muda. Perubahan warna yang terjadi menunjukkan bahwa larutan MO mengalami penurunan konsentrasi zat warna yang mengindikasi bahwa proses adsorpsi telah terjadi. Warna yang memudar menunjukkan bahwa molekul-molekul metil orange telah berpindah dari fasa cair ke permukaan padatan (adsorben).



Gambar 1. Perbandingan antara model optimasi dengan data eksperimen.



(a) (b)

Gambar 2. Larutan MO (a) sebelum adsorpsi (b) setelah adsorpsi

Sementara itu, signifikasi model penelitian ini ditentukan dari nilai p-value dan F-value, dimana nilai p-value sebesar 0,015 dan nilai F-value sebesar 5,82. Jika nilai p-value < 0,05 dan hasil F-value menunjukkan bahwa model signifikan secara statistic dan layak untuk digunakan dalam

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

analisis (Handayani et al,. 2024). Artinya, secara umum terdapat hubugan yang signifikan antara variable-variabel input dengan respon yang diamati.

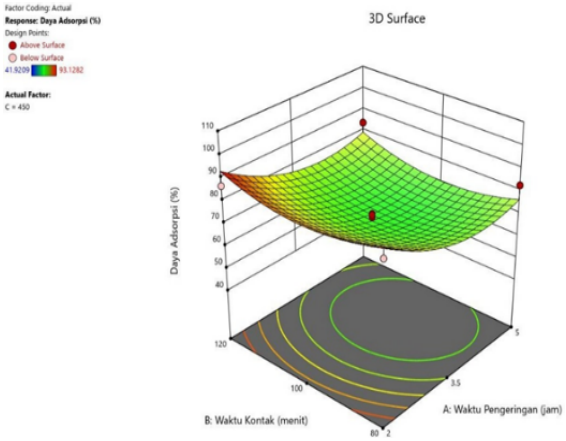
Secara individual, factor waktu pengeringan (A) dan suhu karbonisasi (C) berpengaruh signifikan terhadap respon dengan nilai p masing-masing sebesar 0,0215 dan 0,0023. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar desain dalam penelitian ini, dimana faktor-faktor proses sering kali berpengaruh langsung terhadap kualitas atau karakteristik produk (Montgomery, 2017). Sebaliknya, waktu kontak (B) mrmiliki nilai p sebesar 0,7954 yang menunjukkan bahwa factor ini tidak berpengaruh nyata terhadap respon.

Adapun interaksi antara faktor (AB, AC, dan BC), hanya interaksi AC yang signifikan (p = 0.0142), menunjukkan bahwa kombinasi waktu pengeringan dan suhu memiliki pengaruh gabungan yang signifikan terhadap respon. Interaksi yang signifikan penting untuk diperhatikan dalam proses optimasi karena efek suatu factor dapat bergantung pada tingkat factor lainnya (Myers, 2016). Selain itu, analisis kuadratik menunjukkan bahwa hanya factor A^2 yang berpengaruh signifikan terhadap respon (p = 0,0347), sedangkan B^2 dan C^2 tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara waktu kontak dan suhu pengeringan bersifat non-linier.

Hasil uji lack of fit juga menunjukkan nilai p sebesar 0,1977 (> 0,05), yang berarti model tidak memiliki penyimpangan yang signifikan terhadap data eksperimen. Dengan demikian, model dapat dikatakan valid dan representatif dalam memodelkan hubungan antar variabel (Montgomery, 2017).

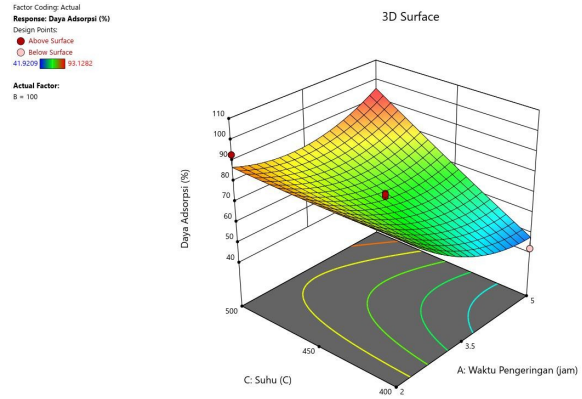
Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa faktor suhu, waktu pengeringan, dan interaksi antara waktu kontak dan suhu merupakan faktor-faktor utama yang berpengaruh signifikan terhadap respon dalam penelitian ini.

A. Pengaruh Interaksi Parameter Proses pada Pembuatan Adsorben dari Limbah Kulit Pisang Raja Terhadap Daya Adsorpsinya.



Gambar 3. Interaksi antara waktu pengeringan dengan waktu kontak.

Gambar 3. Menunjukkan pengaruh interaksi antara waktu pengeringan dan waktu kontak bahwa seiring meningkatnya waktu pengeringan maka daya adsorpsinya semakin besar. Hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian (Budiningsari, 2013) yaitu bahan dengan kadar air tinggi menghambat aktivasi kimia karena air mengurangi efektivitas penetrasi HCl ke dalam struktur arang.

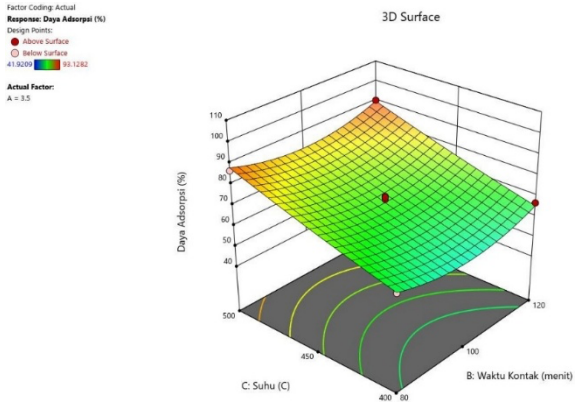


Gambar 4. Interaksi antara waktu pengeringan dengan suhu karbonisasi.

Kombinasi waktu pengeringan dan suhu karbonisasi sangat mempengaruhi karakter fisik arang aktif. Waktu pengeringan 24 jam yang dikombinasi

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

dengan suhu karbonisasi 500^{0}C memberikan efisiensi adsorpsi tertinggi. Pengeringan yang tidak optimal menyebabkan struktur pori yang terbentuk menjadi kurang sempurna bahkan jika suhu karbonisasi tinggi (Febriana & Pratiwi, 2017). Sebaliknya, suhu karbonisasi rendah tidak cukup untuk membuka pori walaupun bahan telah dikeringkan secara maksimal. Hal ini selaras dengan hasil penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4 menunjukkan pengaruh interaksi parameter antara waktu pengeringan dan suhu karbonisasi bahwa seiring meningkatnya suhu karbonisasi dari 2 jam sampai 5 jam maka daya adsorpsinya semakin besar. Hal Ini menunjukkan bahwa daya adsorpsi semakin meningkat secara linear dengan meningkatnya suhu karbonisasi.



Gambar 5. Interaksi antara waktu kontak dengan suhu karbonisasi.

Waktu kontak menentukan tingkat dekomposisi bahan organic dan pembentukan strukur pori. Menurut Winarno et al (2018), bahwa suhu tinggi ≤500^{0}C mampu meningkatkan luas permukaan arang aktif secara signifikan. Waktu kontak yang cukup diperluan agar molekul MO berinteraksi maksimal dengan permukaan arang. Hal ini selaras dengan penelitian dapat dilihat pada gambar 5. menunjukkan pengaruh interaksi parameter antara waktu pengeringan dan suhu karbonisasi bahwa seiring meningkatnya suhu karbonisasi dari 2 jam sampai 5 jam maka daya adsorpsinya semakin besar. Hal Ini menunjukkan bahwa daya adsorpsi semakin meningkat secara linear dengan meningkatnya suhu karbonisasi.

KESIMPULAN

Proses optimasi adsorpsi *methyl orange* terhadap adsorben arang aktif kulit pisang raja menggunakan metode *Box Behnken Design* telah menyarankan parameter paling optimal untuk menghasilkan daya adsorpsi tertinggi. Daya adsorpsi tertinggi dari penelitian ini adalah waktu pengeringan 2 jam, suhu karbonisasi sebesar 500^{0}C dengan waktu kontak 100 menit menghasilkan daya adsorpsi sebesar 93,13%.

DAFTAR PUSTAKA

Abdi, C. K. 2015. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Karbon Aktif Untuk Pengolahan Air Sumur Kota Banjarbau : Fe dan Mn. *Jukung : Jurnal Teknik Lingkungan* , 1(1) : 8-15.

Anindya, B. D., Mahatmanti, F. W., Kusumastuti, E., & Wahyuni, S. 2021. Activated Carbon from Kepok Banana Peel (Musa paradisiaca L.) as Methyl Orange and Methyl Violet Adsorbent in Aqueous Solution. Indonesian Journal of Chemical Science, 10(3), 188–197. https://doi.org/10.15294/ijcs.v10i3.51178

Anita, S., Hanifah, T. A., Kartika, G. F., & Yanti, P. H. 2021. Methylene Blue and Methyl Orange Dyes Removal using Low-Cost Composite of Banana Peel-TiO_2 Adsorbent. Journal of Physics: Conference Series, 1819(1), 012060. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1819/1/012060

Budiningsari, D. 2013. Pemanfaatan Kulit Pisang untuk Arang Aktif dalam Penyerapan Pewarna Tekstil. Jurnal

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

Sains dan Teknologi Lingkungan, 5(2), 115–122.

Crini, G., & Lichtfouse, E. 2019. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. Environmental Chemistry Letters, 17(1), 145–155.

D. P. Handayani, H. S. Kusuma, D. Timotius, T. Sarastika, M. Mahfud, H. Darmokoesoemo. 2024. Extraction of *Centella asiatica* herb using microwave-assisted solvent extraction: Optimization of crude extract using Box-Behnken design, *Green Analytical Chemistry*, vol. 11, pp. 100146,

Febriana, A., & Pratiwi, R. 2017. Studi Adsorpsi Zat Warna *Methyl orange* Menggunakan Arang Aktif dari Limbah Organik. Jurnal Teknologi Lingkungan, 18(3), 211–218.

Hapid, S. Zullaikah, M. Mahfud, A. Kawigraha, M. U. Azmi, I. Haryanto, H. P. Soewoto, A. W. Go, S. Assabumrungrat. 2024. Optimization of microwave-assisted roasting: Box-behnken design for oxidation of sulfide minerals and control of atmospheric sulfur in refractory gold ore pretreatment, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 10, pp. 100826.

Hernawati, dan Aryani, A. 2007. Potensi Tepung Kulit Pisang Sebagai Pakan Ternak Alternatif Pada Ransum Ternak Unggas. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing.* Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.

Lintang, A. A dan Listyana, C. D. 2025. Optimization of Operating Conditions in Lignin Isolation Process of Rice Straw Using Box-Behnken Design Methodology. ***J. Tek. Kim. Ling. 2025, 9 (1), 11-19.*** http://dx.doi.org/10.33795/jtkl.v9i1.6886

Montgomery, D. C. 2017. Design and Analysis of Experiments (9th ed.). Wiley.

Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. 2016. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (4th ed.). Wiley.

Sri, S., & Ratih, P. S. 2020. Konversi Ampas Buah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis jacq*.) Menjadi Arang Dan Kompos Serta Penggunaannya Sebagai *Soil Conditioning*. *Katalis Jurnal Penelitian Kimia dan Pendidikan Kimia*. Volume 3, No.1, Juni 2020. https://doi.org/10.33059/katalis.v3i1.2389.

Winarno, W. W., Raharjo, J., & Falahudin, M. 2018. Pengaruh Suhu Karbonisasi terhadap Sifat Fisik Arang Aktif dari Tempurung Kelapa. Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri, 9(2), 88–94.

Zhu, H., Jiang, R., Xiao, L., Chang, Y., & Guan, Y. 2020. Adsorption of an anionic dye from aqueous solutions using chemically modified biomass. Bioresource Technology, 101(14), 5343–5351.