

## Kombinasi Cangkang Kepiting- *Fly Ash*-Nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Dalam Proses Adsorpsi Zat Warna

Dewi One Dira Pratiwi<sup>1</sup>, Novi Eka Mayangsari<sup>1\*</sup>, Nora Amelia Novitrie<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [noviekam@ppns.ac.id](mailto:noviekam@ppns.ac.id)

### Abstrak

Cangkang kepiting memiliki kandungan kitin sebesar 50-60% dapat dimodifikasi menjadi kitosan. Isolasi kitin menjadi kitosan melalui proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Komposit kitosan cangkang kepiting *Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) untuk menurunkan efisiensi kandungan konsentrasi limbah artifisial zat warna *Congo Red* dengan metode adsorpsi. Kitosan dapat menurunkan polutan dengan memodifikasi yang dikompositkan bahan Magnetik Nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan *Fly Ash*. Efisiensi *Congo Red* terhadap kitosan cangkang kepiting-*Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel memiliki nilai tertinggi sebesar 99,99%. Kinetika adsorpsi mengikuti orde dua dan isotherm mengikuti Langmuir dan Freundlich. Kapasitas adsorpsi komposit tertinggi sebesar 49,73 mg/g.

**Keywords:** Adsorpsi, Kitosan, *Fly Ash*, Magnetik Nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Isotherm, Kinetika Adsorpsi

### 1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan pada industry tekstil yang menggunakan polutan zat warna sintetik golongan azo adalah *Congo Red*. *Congo Red* merupakan senyawa benzidin azo dengan toksisitas kuat dan memiliki efek karsinogenik (Deng *et al.*, 2021). Air limbah dapat diolah melalui adsorpsi, koagulasi-flokulasi, membrane filtrasi, pertukaran ion, dan sedimentasi. Diantaranya, adsorpsi dapat menjadi pengolahan yang sangat efektif untuk penghilangan warna air limbah tekstil (Nachiyar *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian adsorpsi zat warna, seperti yang dilakukan oleh (Baunsele & Missa, 2020), memebrikan solusi untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan ini. Salah satu alternatif seperti penggunaan kitosan untuk mengubah Kitosan dan meningkatkan sifat kimia dan strukturnya adalah reaksi ikatan silang yang mudah untuk mengurangi kelarutan kitosan dalam medium asam serta mengurangi hidrofobisitas dalam larutan air Glioksal (Gly) (Malek *et al.*, 2020). Proses pembuatan kitosan meliputi 3 tahap, yaitu deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Metode deasetilasi dalam pembuatan kitosan secara konvensional membutuhkan pelarut banyak dan waktu lebih lama (Mashuni *et al.*, 2021). *Fly Ash* dalam adsorpsi dapat diperlakukan secara kimia mempengaruhi kapasitas adsorpsinya. Pengolahan kimia *Fly Ash* dapat meningkatkan luas permukaan yang mengakibatkan peningkatan kapasitas adsorpsi logam berat. Menurut Kurniady, (2014) karakteristik *Fly Ash* dengan Magnetik Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat menjadi adsorben yang efektif dalam penurunan zat warna.

Potensi ketiga adsorben dapat mengatasi pencemaran zat warna dalam industri tekstil dan mendukung pengelolaan limbah industri secara lebih efisien. Penelitian ini memperluas pengetahuan dengan menggabungkan ketiganya dalam satu konteks penurunan zat warna *Congo Red*. Mengacu dari hal itu dilakukan penelitian mengenai pengaruh massa adsorben, waktu kontak dan konsentrasi limbah terhadap penurunan *Congo Red*, isotherm dan kinetika adsorpsi *Congo Red* dengan menggunakan kitosan limbah cangkang kepiting, -*Fly Ash* -Magnetik Nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

### 2. METODE

#### 2.1. Kitosan

Menurut Nduru *et al.*, (2018), persiapan sampel bahan baku diawali dengan membersihkan cangkang kepiting dengan dicuci berulang kali hingga kotorannya hilang, menjemur di bawah sinar matahari hingga benar-benar kering, cangkang kepiting yang sudah kering dihaluskan, diayak dengan ukuran partikel lolos 100 mesh. Kemudian, serbuk cangkang kepiting yang lolos ayakan siap diisolasi menjadi kitin. Menurut Nduru *et al.*, (2018), persiapan isolasi kitosan sampel bahan baku dengan tahap deproteinisasi bertujuan untuk menghilangkan protein dalam cangkang kepiting. Proses ini dilakukan dengan cara serbuk cangkang kepiting lolos 100 mesh dengan NaOH 3,5% dengan perbandingan berat cangkang kepiting dengan volume larutan 1:10 (b/v). Campuran dipanaskan pada suhu 65°C selama 2 jam, pengadukan 150 rpm. Didinginkan dan disaring,

diambil residunya dan dicuci menggunakan aquades sampai pH netral. Endapan hasil penyaringan dikeringkan dalam oven suhu 100°C selama 4 jam. Tahap demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan mineral pada cangkang kepiting. Proses ini dilakukan dengan cara Proses demineralisasi dengan mereaksikan serbuk hasil proses deproteinasi dengan HCl 1 N. Perbandingan berat cangkang kepiting dengan volume larutan 1:15 (b/v) pada suhu HCl selama 1 jam dengan pengadukan 150 rpm. Disaring untuk diambil residunya, dicuci menggunakan aquades sampai pH netral. Endapan hasil penyaringan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 4 jam. Kemudian, Tahap deasetilasi sebanyak 5 g kitin ditambahkan 100 mL. NaOH 50% dengan perbandingan massa kitin dan volume larutan. NaOH 50% adalah 1:20 (b/v) kemudian diaduk dalam magnetic stirrer dengan kecepatan 150 rpm selama 180 menit pada suhu 110°C (Yanti *et al.*, 2018). Hasil dari proses ini disaring menggunakan kertas saring dan mencuci residu menggunakan aquadest sampai pH netral. Hasil residu tersebut dikeringkan selama 360 menit dalam oven pada suhu 80°C.

## 2.2. Fly Ash

Sampel *Fly Ash* diaktivasi fisika, dipanaskan pada suhu  $\pm 1500^\circ\text{C}$ , proses aktivasi ini dilakukan Furnace di industry. Proses dengan menggunakan gas aktivasi seperti  $\text{CO}_2$ , atau uap air yang dialirkan pada *Fly Ash* selama 1 jam (Jamilatun & Setyawan, 2014). Kemudian dimasukkan ke dalam desikator untuk menghilangkan kandungan air selama 1 jam.

## 2.3. Pembuatan Sampel Komposit Cangkang Kepiting (*Scylla Serrata*)-Fly Ash-Magnetik Nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

Menurut Malek *et al.*, (2020), persiapan komposit cangkang kepiting-*fly ash*-magnetik nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sampel bahan baku diawali dengan: Mencampurkan 1 g Chitosan dan 1 g *Fly Ash*, dihomogenkan menggunakan Acetic Acid 5%, 50 mL. Mencampurkan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan perbandingan  $\text{Fe}^{2+} : \text{Fe}^{3+} = 2,7 \text{ g} : 3,9 \text{ g}$ . Campuran  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dilakukan pengadukan dengan dilarutkan aquadest 10 mL. Kemudian menambahkan larutan Chitosan dan *Fly Ash* dengan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , lalu pengadukan secara perlahan selama 1 jam. Menambahkan NaOH 2 M dalam 100 mL tetes demi tetes hingga pH 12. Diamkan selama 4 jam, dinginkan dan disaring untuk menghilangkan sejumlah besar larutan berair dari bagian atas campuran. Dicuci berulang kali dengan air deionisasi hingga netral. Pisahkan dari padat ke cair dengan pemisahan magnetik atau filtrasi. Padatan yang dihasilkan kemudian didinginkan hingga berat konstan dalam oven pada suhu 110°C. Setelah pendinginan, spesimen dihaluskan dan disaring untuk memperoleh magnet ferri/adsorben karbon aktif ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Wu *et al.*, 2023).

## 2.4. Pembuatan Larutan Artifisial Congo Red

Pembuatan limbah artifisial dilakukan dengan cara membuat larutan induk *Congo Red*. Melarutkan 1 gram *Congo Red* dengan aquades 1000 mL sehingga didapatkan konsentrasi (Larutan induk *Congo Red* sebesar 1000 ppm). Encerkan 15 mL larutan induk dengan aquades hingga batas labu ukur 100 mL, sehingga didapatkan konsentrasi 150 ppm.

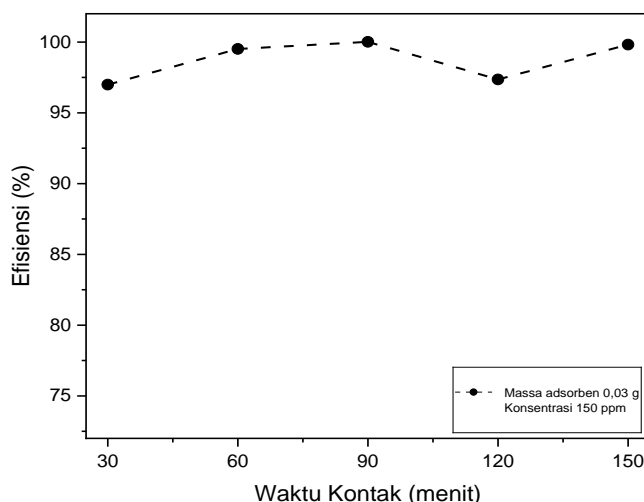
## 2.5. Adsorpsi

Proses adsorpsi kitosan cangkang kepiting-*fly ash*-magnetik nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) mengacu pada penelitian yang dilakukan (Futalan *et al.*, 2011 & Futalan *et al.*, 2020). Kitosan cangkang kepiting-*fly ash*-magnetik nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ditimbang massanya sebanyak 0,03 g. Massa padatan yang sudah di timbang dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 100 mL sampel air limbah artifisial *Congo Red* konsentrasi 150 ppm dengan masing-masing pH 4. Penyesuaian PH dilakukan dengan menggunakan HCl 1 M. Erlenmeyer yang berisi sampel, diaduk menggunakan magnetic stirrer bar dengan kecepatan 150 rpm. Pengadukan dilakukan dengan waktu 30,60,90,100 dan 120 menit. Larutan disaring kemudian filtrat yang didapat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengaruh Massa Adsorben, Waktu Kontak dan Konsentrasi Limbah terhadap efisiensi Congo Red

Penentuan pengaruh massa adsorben, waktu kontak dan konsentrasi terhadap limbah artifisial *Congo Red* dilakukan dengan memvariasikan massa adsorben yaitu 0,03 g yang dikontakkan dengan limbah *Congo Red* artifisial 150 ppm sebanyak 100 mL selama 30, 60, 90, 120 dan 150 menit.



**Gambar 1.** Grafik pengaruh massa adsorben, waktu kontak dan konsentrasi terhadap efisiensi proses adsorpsi kitosan cangkang kepiting-*Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel ( $Fe_3O_4$ )

Berdasarkan gambar 1 penurunan Efisiensi *Congo Red* menggunakan massa adsorben 0,03 g dengan konsentrasi 150 ppm menunjukkan grafik pada waktu kontak 120 menit terjadi penurunan efisiensi sebesar 99,41%. Selain itu, ketika waktu kontak optimum, adsorben menyerap semua zat warna sehingga tidak ada lagi zat warna yang tersisa. waktu optimum yang terjadi 90 menit memiliki efisiensi 99,56% dengan massa 0,03 g kondisi konsentrasi 150 ppm. Pada waktu berikutnya daya serap menurun secara tidak relevan, yang menunjukkan bahwa adsorpsi telah mencapai jenuh. Akibat adanya proses adsorpsi zat warna menjadi kurang efisien (Aisyahlika, 2018). Proses adsorpsi tersebut telah mencapai titik jenuh karena telah adanya serapan *Congo Red* sehingga tidak dapat lagi mengadsorpsinya. Waktu kontak meningkat, jumlah zat yang terserap juga akan meningkat secara linear. Seiring meningkatnya dengan waktu pengadukan, menunjukkan bahwa persentase desorpsi meningkat seiring dengan lamanya kontak, dan peningkatan ini terjadi sebelum mencapai kesetimbangan (Anwar et.al., 2022). Efektifitas penurunan *Congo Red* saat konsentrasi 150 ppm pada masing-masing massa adsorben 0,03 g konsentrasi awal yang didapatkan 150 ppm dengan konsentrasi akhir 0,624 ppm. Berdasarkan penelitian konsentrasi akhir logam besi dalam larutan menurun seiring dengan efisiensi penyisihan logam besi dan bahwa dosis adsorben yang digunakan pada percobaan optimasi lebih besar.

### 3.2 Isotherm Kesetimbangan Adsorpsi

Isoterm Freundlich dan Langmuir adalah dua jenis isoterm adsorpsi yang paling umum digunakan. Ada perbedaan konsentrasi adsorbat yang menyebabkan penentuan isoterm adsorpsi. Persamaan linier dengan nilai koefisien regresi (R) diperoleh. Nilai dari grafik Langmuir dan Freundlich terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Persamaan Model Kesetimbangan Adsorpsi *Congo Red* Isoterm Langmuir dan Freundlich

Model Kesetimbangan Isotherm Langmuir					
Massa Adsorben (g)	Konsentrasi (ppm)	Persamaan Linier	R <sup>2</sup>	Qmax	KL
0,03 g/100 mL	150	$y = 1,0214x - 0,004$	1	0,9790	-255,35
Model Kesetimbangan Isotherm Freundlich					
Massa Adsorben (g)	Konsentrasi (ppm)	Persamaan Linier	R <sup>2</sup>	Kf	1/n
0,03 g/100 mL	150	$y = -0,0407x + 1,717$	1	52,1194	-0,0407

Berdasarkan regresi linier (R<sup>2</sup>) data dengan persamaan dan koefisien korelasi yang tinggi, data adsorpsi menunjukkan kesesuaian yang baik dengan isoterm Langmuir dan Freundlich. Sesuai dengan nilai regresi linier (R<sup>2</sup>) yang diperoleh, karena 0,999 hampir mendekati 1, hal ini menunjukkan adsorpsi yang baik (Arabpour et al., 2021). Terdapat pada massa 0,03g dalam kondisi konsentrasi 150 ppm merupakan adsorpsi yang baik. Mekanisme isotherm kesetimbangan adsorpsi terjadi pada analisis daya serap *Congo Red* dipengaruhi oleh oleh luas permukaan dan sisi aktif yang dimiliki adsorben, semakin luas permukaan adsorben dapat menentukan seberapa banyak molekul yang diserap (Cendekia & Afifah, 2023). Nilai yang didapatkan 0,999 mendekati 1 dan 1 untuk kesetimbangan ini terjadi pada model isotherm Langmuir dan Freundlich.

### 3.2 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi, adsorben menyerap suatu zat dalam jumlah waktu tertentu. Kinetika menunjukkan laju penyerapan solute, waktu penyerapan adsorbat pada *interface* antara padatan dan larutan akan diatur kemudian.

Kinetika adsorpsi sangat penting untuk menentukan laju penyerapan larutan. Kinetika adsorpsi dilakukan untuk mendapatkan adsorben menyerap pada zat warna *Congo Red*. Penelitian ini menggunakan kinetika orde nol, orde satu, dan orde dua. Berikut tabel persamaan Kinetika Orde Nol, Orde Satu dan Orde Dua pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Persamaan Kinetika Adsorpsi Orde Nol, Orde Satu dan Orde

Massa Adsorben (g)	Konsentrasi (ppm)	Persamaan Linier	R <sup>2</sup>
<b>Orde Nol</b>			
0,03 g/100 mL	150	$y = -1,1685x + 5,6658$	0,7859
<b>Orde Satu</b>			
0,03 g/100 mL	150	$y = 0,2394x + 5,1283$	0,7748
<b>Orde Dua</b>			
0,03 g/100 mL	150	$y = 0,0918x - 0,0098$	0,9382

Setelah data diplotkan pada grafik, nilai koefisien regresi (R<sup>2</sup>) dihitung. Nilai R<sup>2</sup> yang paling besar menunjukkan kinetika adsorpsi. Komposit mengikuti model Orde Dua karena adsorpsi Zat warna oleh kitosan cangkang kepiting-*Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> memiliki nilai koefisien korelasi (R<sup>2</sup>) meningkat sebesar 0,9382 hampir mendekati angka 1 dalam massa 0,03g kondisi konsentrasi 150 ppm pada orde dua. Namun pada massa 0,03g kondisi konsentrasi 150 ppm di Orde Nol dan Orde Satu tidak mendekati angka 1. Dalam proses adsorpsi kinetika orde dua kecepatan penyerapan adsorben terhadap *Congo Red* per satuan waktu (dq/dt) sebanding dengan penurunan konsentrasi adsorbat (1/Ce).

Pada beberapa awal proses adsorpsi, konsentrasi larutan mengalami penurunan yang signifikan. Setelah itu, kecepatan adsorpsi turun terus sampai kondisi seimbang di mana *Congo Red* tidak dapat teradsorpsi ke dalam adsorben kitosan cangkang kepiting-*Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Hasil ini menunjukkan bahwa melibatkan interaksi secara kimia dan fisika yang mengatur adsorpsi antara adsorben dan adsorbat pada permukaan zat pewarna *Congo Red* oleh kitosan cangkang kepiting-*Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> komposit yang terjadi bersamaan. Ini juga menunjukkan bahwa gaya interaksi elektrostatik antara gugus fungsi bermuatan positif yang terlibat dalam adsorpsi (Zhang, 2019).

#### 4. KESIMPULAN

Efisiensi penurunan *Congo Red* dalam kondisi massa adsorben 0,3 gram, waktu kontak selama 120 menit dan konsentrasi larutan 150 ppm sebesar 99,41%. Isoterm Adsorpsi *Congo Red* menunjukkan pada adsorben kitosan cangkang kepiting-*Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) terhadap penurunan *Congo Red* memiliki nilai Isotherm Langmuir dengan R<sup>2</sup>=1 dan 0,9999 dan Isotherm Freundlich sebesar R<sup>2</sup>=1 dan 0,9972. Kinetika Adsorpsi *Congo Red* menunjukkan pada adsorben kitosan cangkang kepiting-*Fly Ash*-Magnetik Nanopartikel (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) pada Orde Nol dengan nilai persamaan tertinggi R<sup>2</sup>=0,7859, Orde Satu dengan nilai persamaan R<sup>2</sup>=0,7748 dan Orde Dua dengan nilai persamaan R<sup>2</sup>=0,9382 paling tertinggi dari kinetika orde nol dan satu.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abd Malek, N. N., Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S., Ismail, K., & Hameed, B. H. (2020). New magnetic Schiff's base-chitosan-glyoxal/Fly Ash /Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> biocomposite for the removal of anionic azo : an optimized process. *International journal of biological macromolecules*, 146, 530-539.
- Aisyahlika, S. Z., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2018). Kapasitas adsorpsi arang aktif cangkang Bintaro (Cerbera odollam) terhadap zat warna sintesis Reactive RED-120 dan Reactive BLUE-198. *Alotrop*, 2(2).
- Anwar, K., Mardiyono, M., & Harmastuti, N. (2022). Karakteristik pektin kulit buah sukun (*Artocarpus altilis* (Park.) Fosberg) dan uji kemampuan adsorpsi logam berat pada limbah laboratorium stifea semarang. *Jurnal Ilmiah Sains*, 22(1), 8-16.
- Arabpour, A., Dan, S., & Hashemipour, H. (2021). Preparation and optimization of novel graphene oxide and adsorption isotherm study of methylene blue. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(3), 103003.
- Baunsele, A. B., & Missa, H. (2020). Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimia Indonesia*, 5(2), 76.
- Cendekia, D., & Afifah, D. A. (2023). a Model Isoterm Adsorpsi Langmuir Pada Analisis Daya Serap Iodium. *JoASCE (Journal Applied of Science and Chemical Engineering)*, Vol.1, No.2, Hal 38-43.
- Deng, P., Wang, Z., Pan, Z., Zhang, S., and Rong, G. 2021. Adsorption Behaviors Of Congo Red Onto Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Heterogeneous Nanoparticles Prepared Via An Alcohol-Assisted Combustion Process. *Material Research Express*. 2021(8): 12.
- Futalan, C. M., Kan, C. C., Dalida, M. L., Hsien, K. J., Pascua, C., & Wan, M. W. (2011). Comparative and Competitive Adsorption of Copper, Lead, and Nickel Using Chitosan Immobilized on Bentonite. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 528–536.
- Futalan, C. M., Yang, J. H., PHatai, P., Chen, I. P., & Wan, M. W. (2020). Fixedbed Adsorption of Copper

- from Aqueous Media Using Chitosan-coated 92 Bentonite, Chitosan-coated Sand, and Chitosan-coated Kaolinite. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 24659–24670.
- Jamilatun, S. & Setyawan, M. (2014 ) Pembuatan Arang Aktif dari T rang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair.
- Kurniady, A. (2014). Studi Analisis Pengaruh Suhu, Tekanan dan Ukuran Pori GrapHene terhadap Dinamika Molekuler Adsorpsi Hidrogen. *Prisma Fisika*, 2(3), 59–66.
- Mashuni, M., Natsir, M., Lestari, W. M., Hamid, F. H., & Jahiding, M. (2021). Pemanfaatan kitosan dari cangkang kepiting bakau (*Scylla Serrata*) dengan metode microwave sebagai bahan dasar kapsul obat. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, & 17(1), 74-82.
- Muryanto, M., and Siahaan, F. 2021. Adsorption Of Congo Red Using Kenaf Core. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 5(2): 81.
- Nachiyar, C. V., Rakshi, A. D., Sandhya, S., Jebasta, N. B. D., & Nellore, J. (2023). Developments in treatment technologies of -containing effluent: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100339
- Nduru, F. M. A., Drastinawati, D., & Yenti, S. R. Isolasi Kitin Dari Limbah Cangkang Kepiting (*Scylla SP*) Dengan Variasi Pelarut Pada Proses Bleaching. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 5, 1-6.
- P. Zhang, Y. Li, Y. Cao, L. Han, Characteristics of tetracycline adsorption by cow manure biochar prepared at different pyrolysis temperatures, *Bioresour. Technol.* 285 (2019) 121348.
- Wu, Z., Zhang, H., Ali, E., Shahab, A., Huang, H., Ullah, H., & Zeng, H. (2023). Synthesis of novel magnetic activated carbon for effective Cr(VI) removal via synergistic adsorption and chemical reduction. *Environmental Technology and Innovation*, 30, 103092.