

ISOTERM DAN TERMODINAMIKA ADSORPSI PADA *METHYLENE BLUE* MENGGUNAKAN HIDROKSIAPATIT

Dian Novita Rahmawaty¹⁾, Yelmida Azis²⁾, Cory Dian Alfarisi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Laboratorium Dasar Teknik Kimia

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293

email: dian.novita7374@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The adsorption model was carried out to find out the appropriate adsorption mechanism in the methylene blue adsorption process using hydroxyapatite. The aim of this study was to determine the equilibrium time, the effects of methylene blue's initial concentration, adsorption temperatures and the adsorption models. Analysis was conducted by spectrophotometric method, then tested on the Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich (DRK) isotherm model. The result showed that the best initial concentration of methylene blue for adsorption temperature 30°C with adsorption capacity 2,090 mg/g and 41,79% of removal efficiency. The adsorption followed the Freundlich isotherm model. The thermodynamic parameters ($\Delta H = -8,4$ kJ/mol, $\Delta G < 0$ dan $\Delta S = -80,70$ J/mol K) indicated that the adsorption process was a physically and spontaneously exothermic reaction.

Keywords: adsorption, Freundlich, hydroxyapatite, isotherm, methylene blue.

1. PENDAHULUAN

Limbah cair industri merupakan buangan yang dihasilkan dari berbagai proses produksi di industri. Limbah cair tersebut mengandung bahan-bahan berbahaya dan beracun. Salah satu bahan berbahaya yang biasa terdapat dalam limbah cair yaitu zat warna. Zat warna merupakan senyawa berwarna yang banyak digunakan pada industri tekstil, kertas, kosmetik, plastik, dan banyak industri lainnya (Cahyadi, 2006).

Industri tekstil menggunakan dua jenis zat warna, yaitu pewarna alami dan pewarna sintesis. Pewarna sintesis bersifat *non-degradable* dan beracun. Salah satu zat warna sintesis yang banyak digunakan adalah *methylene blue*. Senyawa ini merupakan senyawa organik turunan dari benzen yang digunakan oleh industri sebagai bahan celup untuk memproduksi baju, kertas, plastik atau bahan dari kulit. Senyawa ini diperoleh dari *benzidine*, yang diketahui memiliki sifat karsinogenik

terhadap hewan dan manusia (Kakame dkk, 2018).

Berbagai macam metode teknologi telah dikembangkan untuk penyerapan zat warna dari air limbah, seperti pengolahan secara fisika, kimia maupun biologi, seperti koagulasi/flokulasi, ozonisasi, membran filtrasi, degradasi fotoelektrokatalitik, biomediasi dan adsorpsi. Saat ini, pengolahan limbah dengan teknik adsorpsi menggunakan berbagai macam adsorben masih merupakan metode yang paling menguntungkan karena dapat menghilangkan bau serta menurunkan kadar zat warna tanpa mengubahnya menjadi senyawa yang lebih berbahaya kemudian efektivitas dan kapasitas adsorpsinya yang tinggi (Riapanitra dkk, 2005). Adsorben seperti karbon aktif (Suryawan dkk, 2018), abu sawit (Irawan, 2018), kitosan (Tanasale dkk, 2012) sudah digunakan untuk penyerapan zat warna *methylene blue*.

Salah satu adsorben yang juga berkembang adalah hidroksiapatit (HAp). Bahan baku pembuatan hidroksiapatit dapat diperoleh dari tulang hewan seperti tulang sapi dan kambing, cangkang telur, cangkang kerang, coral dan sebagainya. Beberapa keunggulan menggunakan hidroksiapatit sebagai adsorben adalah ukuran diameter pori yang kecil (nano dan mikrometer), kapasitas penyerapan yang tinggi, kelarutan dalam air yang rendah dan stabilitas kimia termal yang tinggi (Ghahremani dkk, 2013). Hidroksiapatit telah banyak diterapkan dalam penyerapan logam-logam berat (Nisa dkk, 2016; Prasetyo dkk, 2018)), namun penerapannya untuk penyerapan senyawa organik, khususnya zat warna masih sangat minim (Barka dkk, 2008; Barka dkk, 2010).

Penentuan model adsorpsi bertujuan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi yang terjadi pada proses penyerapan zat warna *methylene blue* menggunakan adsorben hidroksiapatit. Data kesetimbangan adsorpsi kemudian dianalisa menggunakan persamaan model Langmuir, Freundlich, Temkin dan Dubinin-Radushkevich (DRK). Persamaan pada model Langmuir:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

Persamaan pada model Freundlich:

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Persamaan pada model Temkin:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(A_T C_e) \quad (3)$$

Persamaan pada model DRK:

$$q_e = (q_s) \exp(-K_{ad} \varepsilon^2) \quad (4)$$

dimana, q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), q_m adalah kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g), C_e adalah konsentrasi adsorbat sisa/setimbang (ppm), K_{ad} adalah *activity coefficient* (mol^2/kJ^2), ε adalah *polanyl potential* (kJ/mol), K_L , K_F , dan A_T , berurutan merupakan konstanta Langmuir, Freundlich dan Temkin.

Parameter termodinamika adsorpsi antara lain yaitu perubahan energi bebas

(ΔG), perubahan entalpi (ΔH) dan perubahan entropi (ΔS). ΔH dan ΔS dapat dihitung menggunakan persamaan Van't Hoff (Cui dkk, 2014) :

$$\ln K_L = \frac{\Delta S}{R} + \left(-\frac{\Delta H}{RT} \right) \quad (5)$$

Perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) dihitung menggunakan persamaan :

$$\Delta G = -RT \ln K_d \quad (6)$$

dimana, R adalah konstanta gas (8,314 J/mol K) dan T(K) adalah suhu pada K_d .

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah *methylene blue*, hidroksiapatit (rasio Ca/P 1,41; ukuran kristal 23,07 nm; ukuran partikel 62,5 nm; luas permukaan total permukaan pori 28,406 m^2/g) dan aquades.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas piala, gelas ukur, labu ukur, tabung reaksi, batang pengaduk, corong, pipet tetes, pipet volume, botol sampel, termometer, *stopwatch*, *magnetic stirrer*, *hotplate*, timbangan digital, *centrifuge* dan spektrofotometer UV-Vis.

2.2 Persiapan Larutan *Methylene Blue*

Pembuatan larutan induk konsentrasi 100 ppm dilakukan dengan cara melarutkan 100 mg *methylene blue* menggunakan aquades ke dalam labu ukur 1 Liter hingga tanda batas. Larutan induk *methylene blue* dengan konsentrasi 100 ppm diencerkan menjadi 30 ppm, 20 ppm dan 10 ppm masing-masing dalam 1000 ml untuk dijadikan sebagai larutan uji. Larutan 10 ppm diencerkan menjadi 1-9 ppm masing-masing dalam 50 ml untuk larutan standar.

2.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum *Methylene Blue*

Penentuan panjang gelombang maksimum untuk zat warna *methylene blue* dilakukan dengan mengukur absorbansi salah satu larutan standar pada *range* panjang gelombang 610-680 nm dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis. Hasil

absorbansi maksimum yang diperoleh merupakan panjang gelombang optimum yang digunakan dalam penelitian.

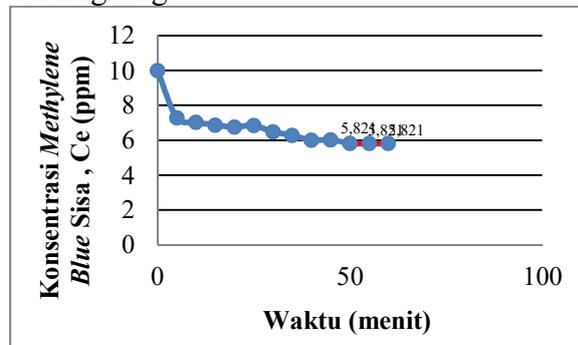
2.4 Proses Adsorpsi

Larutan *methylene blue* sebanyak 250 ml dengan konsentrasi 10 ppm dimasukkan ke dalam gelas piala yang telah dilengkapi dengan *magnetic stirrer* dan termometer. Kecepatan pengadukan diatur sebesar 200 rpm dan suhu adsorpsi 30°C. Setelah suhu adsorpsi tercapai, kemudian dimasukkan hidroksiapatit sebanyak 0,5 gr. Pengambilan sampel dilakukan ketika telah mencapai waktu kesetimbangan. Prosedur yang sama juga dilakukan untuk variasi suhu dan konsentrasi awal *methylene blue* lainnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Waktu Kesetimbangan Adsorpsi *Methylene Blue*

Penentuan waktu kesetimbangan dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi yang setimbang antara konsentrasi *methylene blue* pada larutan terhadap waktu selama proses penyerapan berlangsung.

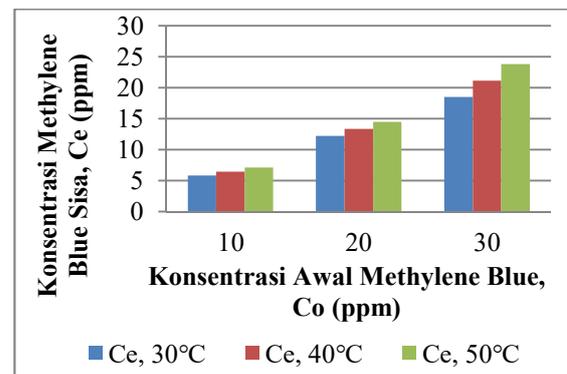


Gambar 1. Grafik Waktu Kesetimbangan pada Adsorpsi *Methylene Blue* Menggunakan Hidroksiapatit

Gambar 1 menunjukkan adanya penurunan konsentrasi *methylene blue* terhadap waktu adsorpsi. Penurunan konsentrasi terjadi dari awal proses adsorpsi hingga menit ke-50, artinya selama waktu tersebut adsorben masih mampu menyerap adsorbat yang terkandung di dalam larutan. Konsentrasi

methylene blue setelah menit ke-50 tidak mengalami perubahan atau telah mengalami kesetimbangan, dimana laju adsorpsi sebanding dengan laju desorpsi. Berdasarkan Gambar 4.1 maka dapat ditentukan waktu kesetimbangan adsorpsi *methylene blue* menggunakan hidroksiapatit yaitu pada menit ke-50, dengan konsentrasi sisa sebesar 5,821 ppm. Waktu kesetimbangan yang diperoleh kemudian digunakan untuk seluruh variasi tahapan adsorpsi dalam penelitian.

3.2 Pengaruh Konsentrasi Awal dan Suhu terhadap Proses Adsorpsi *Methylene Blue* Menggunakan Hidroksiapatit

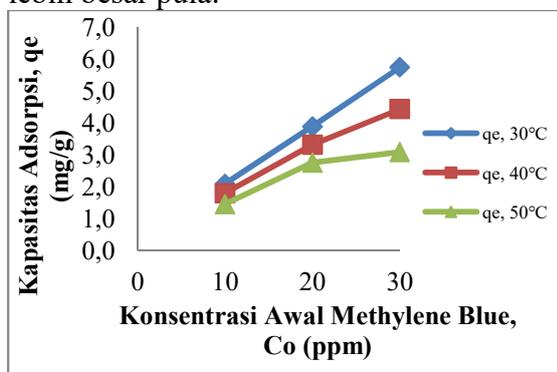


Gambar 2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal dan Suhu Adsorpsi terhadap Konsentrasi *Methylene Blue* Sisa

Gambar 2 memperlihatkan adanya hubungan antara konsentrasi awal dan suhu terhadap konsentrasi *methylene blue* sisa dan kapasitas adsorpsi. Untuk proses adsorpsi pada suhu tetap, semakin tinggi konsentrasi awal *methylene blue* (C_o) maka konsentrasi *methylene blue* yang tersisa pada larutan (C_e) semakin besar. Pada suhu 30°C, nilai C_e untuk konsentrasi awal *methylene blue* 10 ppm, 20 ppm dan 30 ppm berturut-turut sebesar 5,821 ppm; 12,216 ppm dan 18,495 ppm. Peningkatan konsentrasi *methylene blue* sisa ini juga terjadi pada suhu adsorpsi 40°C dan 50°C.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Barka (2010) yang

menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi larutan zat warna maka nilai C_e yang diperoleh semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi maka zat terlarut dalam larutan juga semakin banyak, sehingga *driving force* proses adsorpsi pun semakin besar. Pada kasus dimana konsentrasi awal zat warna yang lebih besar, maka *driving force* lebih besar sehingga dapat mengatasi tahanan pada perpindahan massa yang terjadi di *interface* antara fasa padatan dengan fasa larutan, sehingga akan menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih besar pula.

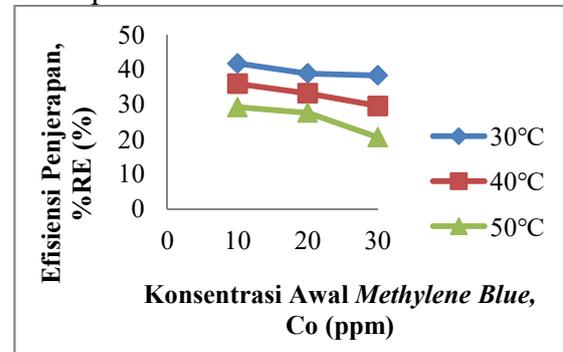


Gambar 3. Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal dan Suhu Adsorpsi terhadap Kapasitas Adsorpsi

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada proses adsorpsi dengan konsentrasi *methylene blue* awal tetap, semakin tinggi suhu adsorpsi maka kapasitas adsorpsi (q_e) semakin kecil. Artinya, semakin tinggi suhu adsorpsi maka semakin sedikit *methylene blue* yang terjerap (C) pada hidroksiapatit. Proses adsorpsi pada konsentrasi awal *methylene blue* 10 ppm didapat nilai q_e untuk suhu 30°C, 40°C dan 50°C berturut-turut didapat sebesar 2,090 mg/g; 1,799 mg/g dan 1,462 mg/g. Kondisi ini juga terjadi pada konsentrasi awal *methylene blue* 20 ppm dan 30 ppm.

Menurut Ismadji dan Bhatia (2000), suhu memainkan peranan penting dalam adsorpsi, umumnya memiliki pengaruh pada jumlah yang terjerap. Adsorpsi komponen organik (termasuk zat warna) merupakan proses eksotermis dan ikatan fisika antara komponen organik dan sisi aktif dari adsorben akan melemah seiring

dengan naiknya suhu. Seiring dengan naiknya suhu, kelarutan *methylene blue* juga naik, gaya tarik antara zat terlarut dengan pelarut menjadi lebih kuat dari pada zat terlarut dengan adsorben, akibatnya zat terlarut lebih sulit untuk diserap.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal dan Suhu Adsorpsi terhadap Efisiensi Adsorpsi *Methylene Blue*

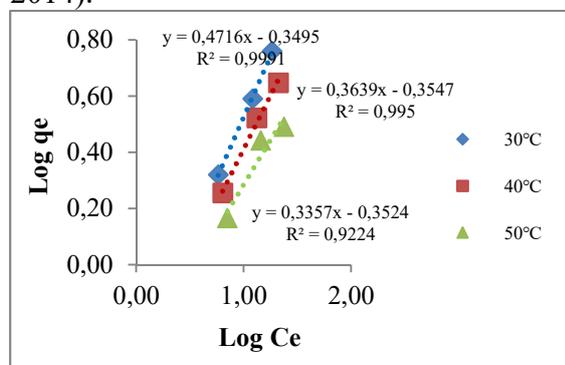
Gambar 4 menunjukkan adanya hubungan antara konsentrasi awal *methylene blue* dan suhu adsorpsi terhadap efisiensi penjerapan, dimana semakin besar konsentrasi awal *methylene blue* dan suhu adsorpsi maka efisiensi penjerapan akan semakin kecil. Auta dan Hameed (2012) menyatakan bahwa permukaan adsorben mengandung sejumlah gugus aktif per unit massa adsorben. Hal ini dikarenakan daya adsorpsi untuk zat warna terbatas akibat dari permukaan adsorben yang saling tumpang tindih dan saling menutupi. Pada konsentrasi larutan yang lebih besar, molekul-molekul zat warna harus bersaing satu sama lain dalam menempati sejumlah gugus pengikat yang terdapat pada permukaan hidroksiapatit, sehingga mengakibatkan sejumlah molekul zat warna tidak ikut teradsorpsi dan tersisa pada larutan. Efisiensi penjerapan juga akan semakin kecil jika suhu dinaikkan. Kondisi ini juga sesuai dengan penelitian Tito (2018) yang menyatakan bahwa adsorbat akan lebih banyak menyerap pada saat suhu rendah. Pada suhu tinggi, proses adsorpsi tidak berlangsung baik karena terjadi proses desorpsi, yaitu proses

pelepasan kembali zat warna yang terserap pada permukaan adsorben.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh efisiensi penjerapan tinggi yaitu sebesar 41,79% terjadi pada suhu 30°C dan konsentrasi awal *methylene blue* 10 ppm, dimana kapasitas adsorpsi yang diperoleh pada kondisi ini sebesar 2,090 mg/g.

3.3 Pengujian Model Kesetimbangan Adsorpsi

Pengujian model isoterm bertujuan menentukan model isoterm yang sesuai pada proses adsorpsi zat warna menggunakan hidroksiapatit. Pengujian model dilakukan menggunakan metode regresi linier untuk tiap variasi suhu. Model isoterm yang diuji adalah model isoterm Langmuir, Freundlich, Temkin dan Dubinin-Radushkevich (DRK). Untuk menentukan kecocokan model isoterm dapat dilihat dari nilai *correlation factor* (R^2) yang diperoleh (Ghahremani dkk, 2013). Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan semakin cocoknya dengan model isoterm yang didapatkan (Cui dkk, 2014).



Gambar 5. Grafik Isoterm Freundlich pada Proses Penjerapan *Methylene Blue* Menggunakan Hidroksiapatit

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat nilai R^2 yang mendekati 1 yaitu pada model Freundlich, dimana pada model ini diperoleh konstanta isoterm Freundlich (K_F) sebesar 0,4472; nilai $1/n$ sebesar 0,4716 sehingga adsorpsi *methylene blue* menggunakan hidroksiapatit bersifat *favorable* dengan nilai R^2 yang diperoleh sebesar 0,9991.

3.4 Parameter Termodinamika Adsorpsi

Kapasitas panas adsorpsi (ΔH) yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu sebesar -8,4 kJ/mol. Nilai entalpi untuk proses adsorpsi dapat digunakan untuk membedakan antara adsorpsi fisika dan kimia. Untuk adsorpsi fisika, panas yang dilepaskan relatif rendah yaitu dibawah 10 kJ/mol, sedangkan panas yang dilepaskan pada adsorpsi kimia relatif lebih tinggi yaitu dibawah 100 kJ/mol (Atkins, 1999). Perubahan entalpi pada adsorpsi *methylene blue* menggunakan hidroksiapatit diperoleh sebesar -8,4 kJ/mol, artinya proses adsorpsi *methylene blue* oleh hidroksiapatit terjadi secara fisika. Kapasitas panas adsorpsi yang dihasilkan bernilai negatif, artinya proses terjadi secara eksotermis (Cano dkk, 2013), dimana proses adsorpsi pada *methylene blue* akan semakin meningkat pada suhu rendah. Peristiwa eksotermis terjadi pada saat molekul-molekul adsorbat melekat pada permukaan adsorben dimana terjadi pembebasan sejumlah energi.

Energi bebas Gibbs merupakan perbedaan antara energi entalpi dengan energi yang tidak digunakan untuk kerja berupa entropi pada temperatur adsolut. Energi bebas Gibbs juga menunjukkan perubahan entropi total dari sistem, dimana bertujuan untuk menentukan kespontanan reaksi yang terfokus hanya pada sistem. Nilai negatif pada ΔG menunjukkan kelayakan dan sifat spontan penjerapan *methylene blue* pada hidroksiapatit. Artinya, secara termodinamika, hidroksiapatit tidak membutuhkan energi luar untuk dapat menyerap *methylene blue* dengan baik. Nilai perubahan energi bebas (ΔG) untuk adsorpsi fisika berkisar antara -20 hingga 0 kJ/mol, sedangkan untuk adsorpsi kimia berkisar antara -80 hingga -400 kJ/mol (Auta & Hamed, 2012). Perubahan energi bebas (ΔG) yang diperoleh pada suhu 30, 40 dan 50°C secara berurutan yaitu -2,5809 kJ/mol, -3,3037 kJ/mol dan -4,2356 kJ/mol, mengindikasikan bahwa proses adsorpsi

methylene blue menggunakan hidroksiapatit terjadi secara fisika dan lebih *favorable* pada suhu rendah.

Nilai perubahan entropi (ΔS) yaitu sebesar $-80,70 \text{ J/mol.K}$. Nilai negatif pada perubahan entropi (ΔS), perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) dan perubahan entalpi (ΔH) mengindikasikan bahwa penjerapan *methylene blue* oleh hidroksiapatit bersifat spontan pada suhu rendah.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini yaitu waktu kesetimbangan adsorpsi *methylene blue* menggunakan hidroksiapatit dicapai selama 50 menit. Semakin besar konsentrasi awal *methylene blue* dan suhu adsorpsi maka efisiensi penjerapan *methylene blue* oleh hidroksiapatit akan semakin kecil. Efisiensi penjerapan tertinggi yaitu sebesar 41,79% terjadi pada suhu 30°C dan konsentrasi awal *methylene blue* 10 ppm, dimana kapasitas adsorpsi yang diperoleh pada kondisi ini sebesar 2,090 mg/g. Mekanisme adsorpsi *methylene blue* menggunakan hidroksiapatit sebagai adsorben memenuhi model isoterm Freundlich. Parameter termodinamika yang diperoleh ($\Delta H = -8,4 \text{ kJ/mol}$, $\Delta G < 0$ dan $\Delta S = -80,70 \text{ J/mol.K}$) mengindikasikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara fisika, spontan dan bersifat eksotermis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing karena telah memberikan masukan dan arahan serta bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Atkins, P. W. (1999). *Kimia Fisika* (2nd ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.
Auta, M., & Hameed, B. H. (2012). Modified Mesoporous Clay Adsorbent for Adsorption Isotherm and Kinetics of Methylene Blue.

Chemical Engineering Journal, 198-199, 219-227.

- Barka, N. S, Qourzal, A, Assabbane., A, Nounah., & Y, Ait-ichou. (2008). Adsorption of Disperse Blue SBL Dye by Synthesized Poorly Crystalline Hydroxyapatite. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 1268-1272.
- Barka, N. S, Qourzal, A, Assabbane., A, Nounah., & Y, Ait-ichou. (2010). Removal of Reactive Yellow 84 from Aqueous Solutions by Adsorption onto Hydroxyapatite. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15, 263-267.
- Cahyadi, W. (2006). *Analisis dan Aspek Kesehatan dan Bahan Tambahan Pangan*. Jakarta : PT. Bumi Aksara.
- Cano, C. F., Azar, C. O., & Speisky, H. (2013). Structural and Thermodynamic Factor on the Adsorption Process of Phenolic Compounds onto Polyvinylpyrrolidone, Colloids and Surface A: *Physicochemical and Engineering Aspects*, 418, pp. 105-111.
- Cui, L., Xu, W., Guo, X., Zhang, Y., Wei, Q., & Du, B. (2014). Synthesis of Strontium Hydroxyapatite Embedding Ferroferric Oxide Nano-composite and Its Application in Pb^{2+} Adsorption. *Journal of Molecular Liquids*. 197, 40-47.
- Ghahremani, D., Iman, M., Esmail, S., Mohsen, E., Sahebali, M., & Leila, K. (2013). Potential of Nano Crystalline Calcium Hydroxyapatite for Tin(II) Removal from Aqueous Solutions: Equilibria and Kinetic Processes. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S461-S471.
- Irawan, R. R. (2018). Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru dengan Menggunakan Abu Sawit sebagai Adsorben. *Skripsi*. Pekanbaru : Program Studi

- Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Ismadji, S., & Bhatia, S. K. (2000). Adsorption of Flavor Esters on Granular Activated Carbon, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 78, 892-901.
- Kakame, D. Y., Wuntu, A. D., & Koleangan, H. (2018). Degradasi dan Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Komposit Ag-Tulang Ikan Terkalnasi. *Chemistry Progress*, 12(2).
- Nisa, A., F., Fadli., A., & Drastinawati. (2016). Model Kesetimbangan Pada Adsorpsi Ion Kadmium (Cd^{2+}) Menggunakan Hidroksiapatit Dengan Variasi Suhu Adsorpsi dan Kecepatan Pengadukan. *JOMFTEKNIK Vol. 3(1)*.
- Prasetyo, K., Aziz, Y., & Komalasari. (2018). Adsorpsi Logam Cd, Cu dan Pb dengan Menggunakan Hidroksiapatit (HA) sebagai Adsorben. *JOMFTEKNIK Vol. 5(2)*.
- Riapanitra, A., Tien, S., & Kapti, R. (2005). Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi. *Jurnal Kimia*. Purwokerto : Unsoed
- Suryawan, I., W., K., Anshah, S., A., & Gita, P. (2018). Adsorpsi Warna Methylene Blue Menggunakan Powder dan Granular Activated Carbon Biji Binjai (Mangifera Caesia). *Jurnal Teknologi Rekayasa, Vol. 3(2)*, 211-218
- Tanasale, M.,F.,D.,P., Amos, K., & Marsela, S., L. (2012). Kitosan dari Limbah Kulit Kepiting Rajungan (Portunus sanguinolentus L) Sebagai Adsorben Zat Warna Biru Metilena. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(2), 165-171.
- Tito, R. (2018). Penentuan Model Kesetimbangan Adsorpsi Direct Brown Menggunakan Hidroksiapatit. *Skripsi*. Pekanbaru : Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau.