



e-ISSN Number
2655 2967

Available online at <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>

Journal of Chemical Process Engineering

Volume 5 Nomor 1 (2020)



SINTA Accreditation Number
28/E/KPT/2019

Selektivitas Adsorpsi Asam Lemak Bebas (ALB) dan Beta Karoten Minyak Sawit Mentah Menggunakan Metakaolin Teraktivasi Kalium Karbonat(K_2CO_3)

(Adsorption Selectivity Free Fatty Acids (FFA) and Beta-Carotene of Crude Palm Oil using Metakaolin Activated with Potassium Carbonate (K_2CO_3))

Hamdil Mukhlisin^{1,2}, Winda Rahmalia¹, Thamrin Usman¹,

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak 78124, Indonesia

²Program Studi Budidaya Perikanan, Jurusan Ilmu Kelautan dan Perikanan, Politeknik Negeri Pontianak
Jl. Jenderal Ahmad Yani-Pontianak 78124, Kalimantan Barat

Inti Sari

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit mentah (Crude Palm Oil, CPO) terbesar di dunia. Kadar asam lemak bebas menjadi parameter kualitas utama yang menentukan mutu dan harga CPO. Proses pemurnian CPO untuk menurunkan kadar asam lemak bebas biasanya menggunakan adsorben dari jenis bleaching earth. Dalam proses adsorpsi asam lemak bebas, adsorben juga dapat mengadsorpsi komponen lainnya pada CPO, yaitu beta karoten. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui selektivitas adsorpsi metakaolin teraktivasi Kalium Karbonat (K_2CO_3) terhadap kadar asam lemak bebas dan beta karoten pada CPO. Selain itu dipelajari juga karakteristik adsorben, kinetika, dan isoterm adsorpsi. Bahan dasar adsorben yang digunakan adalah kaolin dari Desa Capkala Kalimantan Barat. Pemilihan kaolin sebagai bahan pembuatan adsorben didasarkan pada karakteristik kaolin dan kelimpahannya yang banyak di daerah Kalimantan Barat sehingga berpotensi digunakan sebagai adsorben yang efektif dan ekonomis. Pembuatan adsorben dilakukan dengan mengkalsinasi kaolin pada suhu 600 °C sehingga membentuk metakaolin kemudian diaktivasi dengan senyawa K_2CO_3 dengan konsentrasi 0,5, 1, dan 2 M. Metakaolin yang sudah diaktivasi kemudian dikeringkan dan diaplikasikan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan beta karoten pada CPO. Kadar asam lemak bebas dan beta karoten pada CPO yang diadsorpsi oleh adsorbent dihitung, kemudian ditentukan selektivitas adsorpsi, kinetika adsorpsi, dan pola adsorpsi isothermalnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selektivitas adsorpsi adsorben lebih banyak menyerap kadar beta karoten dibandingkan kadar asam lemak jenuh pada CPO. Rasio adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten paling baik terdapat pada

Kata Kunci: selektivitas adsorpsi, asam lemak bebas, beta karoten, K_2CO_3

Key Words : selectivity of adsorption, free fatty acids, beta carotene, K_2CO_3

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Corresponding Author

thamrin_usman@untan.ac.id



Journal History

Paper received : 15 Januari 2020
Received in revised : 03 April 2020
Accepted : 12 Mei 2020

jenis adsorben metakaolin teraktivasi K_2CO_3 1 M dengan nilai 2:13 dalam mol/mol. Karakteristik adsorben dari metakaolin teraktivasi K_2CO_3 yaitu memiliki struktur sillimanite dan kinite yang merupakan kelompok aluminosilikat, dengan komposisi Si/Al = 1, dengan tipe isotherm adsorpsi gas nitrogen adalah H4, distribusi jari-jari pori heterogen yang didominasi pada 13-15 nm (mesopori), dan memiliki luas permukaan sebesar $28,74 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, serta volume pori sebesar $8,018 \times 10^{-2}\text{cm}^3\text{g}^{-1}$. Jenis adsorben metakaolin teraktivasi K_2CO_3 1 M terbukti paling baik untuk mengadsorpsi beta karoten sebesar 26,15 % dan asam lemak bebas sebesar 2,49 % pada CPO dengan kondisi waktu kontak dan massa adsorben optimum adsorpsi yang sama yaitu 60 menit dan massa adsorben 0,4 gram/10 mL CPO. Isotherm adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten memiliki tipe yang sama yaitu isotherm Freundlich. Kinetika adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten memiliki model yang sama yaitu Pseudo orde 2 untuk setiap jenis adsorben.

Abstract

Indonesia is one of the biggest crude palm oil (CPO) producing countries in the world. Free fatty acid levels are the main quality parameters that determine the quality and price of CPO. The process of purifying CPO to reduce levels of free fatty acids usually uses adsorbents from the type of bleaching earth. In the process of adsorption of free fatty acids, the adsorbent can also adsorb other components in CPO, namely beta carotene. The purpose of this study was to determine the selectivity of potassium carbonate (K_2CO_3) activated metakaolin adsorption on free fatty acid and beta carotene levels in CPO. Besides that, the characteristics of adsorbent, kinetics, and adsorption isotherms are also studied. The basic ingredients of the adsorbent used are kaolin from the village of Capkala, West Kalimantan. The choice of kaolin as an adsorbent-making material is based on the characteristics of kaolin and its abundance in West Kalimantan so that it is potentially used as an effective and economical adsorbent. The manufacture of adsorbent is done by calcining kaolin at 600°C to form metakaolin and then activated with K_2CO_3 compounds with concentrations of 0.5, 1, and 2 M. Metakaolin that has been activated then dried and applied to reduce levels of free fatty acids and beta carotene in CPO. The levels of free fatty acids and beta carotene in the CPO adsorbed by the adsorbent were calculated, then the adsorption selectivity, adsorption kinetics, and isothermal adsorption patterns were determined. The results showed that the selectivity of adsorbent adsorbents absorbed more beta carotene levels compared to saturated fatty acid levels in CPO. The best ratio of adsorption of free fatty acids and beta carotene is found in the type of K_2CO_3 1 M activated metakaolin adsorbent with a value of 2:13 in mol / mol. The adsorbent characteristics of K_2CO_3 -activated metakaolin are the structure of sillimanite and kinite which are aluminosilicate groups, with the composition of Si / Al = 1, with the type of nitrogen gas adsorption isotherm is H4, the distribution of heterogeneous pore radius which is dominated at 13-15 nm (mesopores), and has a surface area of $28.74 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, and a pore volume of $8.018 \times 10^{-2}\text{cm}^3\text{g}^{-1}$. K_2CO_3 1M activated metakaolin adsorbent was proven to be the best to adsorb beta carotene of 26.15% and free fatty acids of 2.49% in CPO with the conditions of contact time and optimum adsorbent mass of adsorption of 60 minutes and mass of adsorbent 0.4 gram / 10 mL CPO. Free fatty acid adsorption isotherms and beta carotene have the same type, namely Freundlich isotherms. The kinetics of adsorption of free fatty acids and beta carotene have the same model, Pseudo order 2 for each type of adsorbent.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit mentah (*Crude Palm Oil*, CPO) terbesar di dunia. Pada tahun 2017, total produksi CPO Indonesia mencapai 38,17 juta ton dan PKO sebesar 3,05 juta ton sehingga total keseluruhan produksi minyak sawit Indonesia adalah 41,98 juta ton. Angka ini menunjukkan peningkatan produksi sebesar 18 % jika dibandingkan dengan produksi tahun 2016 yaitu

35,57 juta ton[1]. Peningkatan produksi ini dikarenakan semakin luasnya area perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Bahkan diperkirakan produksi CPO Indonesia akan mencapai angka 65 juta ton per tahun pada 2040-2050. Selain berperan sebagai produsen, Indonesia juga merupakan eksportir CPO terbesar di dunia dari segi volume dan kuantitas diikuti Malaysia, Thailand, Kolombia, dan Nigeria[2]. Tahun 2017 nilai ekspor minyak sawit Indonesia (CPO dan turunannya)

menembus 22,97 milyar dollar AS atau meningkat 26% dibandingkan tahun 2016 dan merupakan nilai tertinggi yang pernah dicapai sepanjang sejarah ekspor minyak sawit Indonesia.

Indonesia dapat menjadi negara pengekspor CPO terbesar di dunia karena sedikitnya produk turunan CPO yang dapat diolah dalam negeri Indonesia meskipun derivat produk CPO sendiri sangat beraneka ragam [3]. Indonesia hanya mampu mengolah CPO menjadi produk turunan sebesar 59,66% dan mengekspor 40,34% CPO dalam bentuk mentah. Kemampuan mengolah CPO Indonesia masih berada jauh di bawah Malaysia. Malaysia mengekspor CPO mentah hanya sebesar 17,5% dan mengekspor 82,5% CPO yang telah diolah menjadi berbagai produk. Ketidakmampuan Indonesia untuk mengolah keseluruhan produk turunan CPO mengakibatkan dorongan bagi produsen dalam negeri untuk mengekspor CPO ke negara-negara pengolah CPO seperti China, India, Pakistan, Belanda, dan beberapa negara Uni Eropa [4].

Kadar asam lemak bebas (ALB) menjadi parameter kualitas utama yang menentukan mutu dan harga CPO. Jenis ALB pada CPO yang paling banyak adalah asam palmitat yang berkisar 40-51 % dari total keseluruhan asam lemak [5][6][7]. Berdasarkan SNI 01-2901-2006 mengenai standar mutu CPO bahwa kadar ALB maksimal 5 % [8][9][10]. Kadar ALB yang tinggi mengakibatkan CPO mudah terdegradasi atau rusak. Untuk itulah upaya menjaga kadar ALB CPO yang sesuai standar sangat penting dilakukan agar nilai ekonominya terjaga.

Proses pemurnian CPO untuk menurunkan kadar ALB biasanya menggunakan adsorben dari jenis *bleaching earth* [11]. Proses *bleaching* yang murah dan mudah dilakukan untuk proses pemucatan CPO adalah cara adsorpsi. Proses ini menggunakan zat penyerap (adsorben) yang memiliki aktivitas permukaan yang tinggi untuk menyerap ALB. Dalam proses adsorpsi ALB, adsorben juga dapat mengadsorpsi komponen lainnya pada CPO, yaitu beta karoten. Hal ini dikarenakan kandungan beta karoten yang cukup tinggi pada CPO. Kandungan β -karoten CPO pada varietas Tenera berkisar antara 500–700 ppm, sedangkan varietas Dura yang berasal dari Nigeria berkisar antara 800–1600 ppm [12].

Adsorben yang paling banyak digunakan dalam proses *bleaching* minyak dan lemak adalah tanah pemucat (*bleaching earth*) seperti lempung terpillar, *bentonit*,

karbon aktif, alumina, silika dan lain-lain [13]. Di antara beberapa jenis adsorben yang sederhana, ekonomis dan kelimpahan di daerah Kalimantan Barat sangat banyak adalah kaolin. Salah satu sumber kaolin yang melimpah adalah kaolin Capkala dari kabupaten Bengkayang. Menurut data Neraca Sumberdaya Mineral, Batu Bara dan Air Tanah Provinsi Kalimantan Barat tahun 2012 dalam , jumlah kaolin yang terdapat di Provinsi Kalimantan Barat diperkirakan sebesar 316 juta ton dan tingkat eksploitasinya baru mencapai 40.000 ton [14].

Kaolin merupakan mineral *clay* jenis alumina-silikat dengan rumus molekul $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ dan komposisi $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2:\text{H}_2\text{O}$ adalah 1:2:2 per sel satuan. Mineral kaolin ini merupakan lempung silikat dengan struktur berlapis, ukuran partikel $<2\mu\text{m}$, dan luas permukaan spesifik 7-20 m^2/g . Kaolin dapat diaplikasikan sebagai adsorben untuk menghilangkan klorida, COD, BOD, sulfat, kromium, kadmium, seng dan pengurangan alkalinitas total dalam air limbah penyamakan kulit [15] dan bixin [16]. Di bidang farmasi kaolin dapat diberikan secara oral sebagai antibakteri, antivirus, dan antidiare, dan secara topikal sebagai agen pelindung dermatologis. Selain sebagai bahan aktif, kaolin juga biasa digunakan dalam aplikasi farmasi sebagai bahan eksipien. Beberapa fungsi dari kaolin sebagai eksipien yaitu sebagai bahan pengisi, agen pengemulsi, agen suspensi, dan bahan penghancur. Selain dalam aplikasi farmasi, kaolin juga digunakan dalam aplikasi kosmetik sebagai agen tabir surya dan untuk tujuan perawatan kulit [17].

Kaolin masih sejenis dengan zeolit dan bentonit, namun zeolit dan bentonit daya serapnya lebih bagus atau lebih tinggi dibandingkan dengan kaolin terlebih lagi jika dibandingkan dengan karbon aktif. Oleh karena itu dibutuhkan upaya untuk meningkatkan daya serap kaolin. Salah satu upaya peningkatan daya serap kaolin sebagai adsorben dapat dilakukan dengan memodifikasinya menjadi metakaolin (fase metastabil dari kaolin) dilanjutkan dengan aktivasi dengan basa sehingga membentuk struktur menyerupai zeolit [18][19].

Metakaolin merupakan mineral lempung kaolin dalam bentuk terdehidrasi. Pemanasan pada suhu 400-800 °C terhadap kaolin membuat struktur kaolin rusak dan membentuk metakaolin yang bersifat amorf. Metakaolin ini dapat dimanfaatkan sebagai adsorben yang lebih baik dari kaolin karena pori-porinya yang lebih besar. Selanjutnya metakaolin tersebut diaktivasi

secara kimia dengan kalium karbonat (K_2CO_3) yang bersifat basa dengan tujuan untuk semakin memperbesar luas permukaan, volume pori, dan diameter pori dari metakaolin serta merubah struktur metakaolin menjadi menyerupai struktur zeolit [20]. Pemilihan kalium karbonat (K_2CO_3), karena bahan ini tidak berbahaya (*food grade*) dan tidak merusak jika dibandingkan dengan basa yang umum digunakan sebagai aktivator seperti KOH dan NaOH [21]. Penelitian ini menggunakan metakaolin yang telah diaktivasi dengan kalium karbonat (K_2CO_3) untuk ditentukan selektivitas adsorpsinya terhadap asam lemak bebas (ALB) dan beta karoten pada CPO. Dalam penelitian ini juga ditentukan karakteristik adsorben, kinetika adsorpsi, dan isoterm adsorpsi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ball Clay* dari Desa Capkala Kabupaten Bengkayang Provinsi Kalimantan Barat dan minyak sawit mentah (CPO) dari Pabrik Minyak Sawit PTPN XIII Cabang Parindu Kalimantan Barat. Bahan-bahan kimia lain diantaranya akuades, KOH, etanol absolut, n-heksan pro analisis, indikator PP dan K_2CO_3 . Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan 200 *mesh*, penggerus, alat-alat gelas standar, neraca analitik, perangkat refluks, perangkat titrasi, tanur, oven, desikator, kertas saring, indikator pH universal, cawan porselin, pipet tetes, *hot plate stirrer*, *sentrifuge*, *magnetic stirrer*.

Metode Penelitian

Prosedur penelitian sebagai berikut :

1. Persiapan sampel kaolin
Preparasi kaolin dilakukan melalui beberapa tahapan, diantaranya pencucian, pemisahan kuarsa dari lempung, pemanasan, dan penggerusan. Sampel *ball clay* dicuci sebanyak 3 kali menggunakan akuades. Suspensi terakhir disentrifus pada 2500 rpm selama 15 menit. Lapisan kaolinit diambil dan dikeringkan dalam oven pada suhu 103 °C selama 24 jam. Kemudian kaolin dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 200 *mesh*.
2. Pembuatan metakaolin
Kaolin halus kemudian dikalsinasi dalam tanur pada suhu 600 °C selama 6 jam [22] untuk

menghilangkan kandungan molekul air yang terikat pada molekulnya. Kaolin yang telah mengalami kalsinasi ini mengalami perubahan fasa dan dapat disebut metakaolin.

3. Aktivasi metakaolin dengan K_2CO_3
Metakaolin yang dihasilkan ditimbang sebanyak 50 g, kemudian ditambahkan larutan K_2CO_3 , dengan variasi K_2CO_3 masing-masing : 0,5, 1,0 dan 2,0 M sebanyak 125 mL. Campuran tersebut masing-masing dipanaskan pada temperatur 98-100°C selama 4 jam. Padatan yang terbentuk disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur 103 °C selama 4 jam.
4. Karakteristik Adsorben
Karakteristik adsorben dilakukan dengan empat tahapan yaitu :
 - a. *Fourier Transmission Infra Red* (FTIR)
Type: PerkinElmer Spectrum Version 10.400.
 - b. *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan alat PANalytical XPERT-PRO dengan nilai rentang $2\theta = 0 - 100$.
 - c. *Scanning Electron Microscopes-Energy Disperation X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) tipe JEOL JED-2300.
 - d. *Brunaur, Emmet, and Teller* (BET) menggunakan alat *Surface Area Analyzer* (SAA) Quantachrome Instrumens Version 3.01.
5. Uji adsorpsi adsorben terhadap asam lemak bebas dan beta karoten.
Ada beberapa tahapan uji adsorpsi adsorben yang dihasilkan, antara lain sebagai berikut :
 - a. Penentuan Waktu Kontak Optimum
Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan cara 6 botol ditambahkan masing-masing 10 mL sampel minyak sawit mentah. Botol 1 sampai botol 5 ditambahkan masing-masing sebanyak 0,4 gram adsorben. Campuran tersebut dipanaskan hingga mencapai suhu 50° C, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan kontrol suhu dengan variasi waktu adsorpsi 0, 15, 30, 60, 180, dan 240 menit. Setelah itu dilakukan pemisahan adsorben menggunakan *sentrifuge* (2500 rpm selama 10 menit). Setelah itu disaring dan diambil filtratnya, kemudian diukur kadar asam lemak bebas

- (ALB) dan beta karoten minyak tersebut.
- b. Penentuan Massa Adsorben Optimum
Penentuan massa adsorben optimum dilakukan dengan cara 6 botol ditambahkan masing-masing 10 mL sampel minyak sawit mentah. Botol 1 sampai botol 5 ditambahkan masing-masing sebanyak 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, dan 0,5 gram adsorben. Campuran tersebut dipanaskan hingga mencapai suhu 50°C, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirer* dan kontrol suhu selama waktu optimum. Setelah itu dilakukan pemisahan adsorben menggunakan *sentrifuse* (2500 rpm selama 10 menit). Setelah itu disaring dan diambil filtratnya, kemudian diukur kadar asam lemak bebas (ALB) dan beta karoten minyak tersebut.
- c. Penentuan kadar asam lemak bebas dan beta karoten
Kadar asam lemak bebas CPO diukur menggunakan metode titrasi (SNI 2006). Sebanyak 0.5 g contoh minyak ditimbang dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL, lalu ditambahkan 50 mL etanol 95% dan 3–5 tetes indikator fenolftalein. Campuran dititrasi dengan larutan KOH 0.005 N yang telah distandardisasi sampai warna merah muda tidak berubah selama 15 detik. Penetapan bilangan ALB dilakukan triplo, serta dilakukan penetapan blangko. Persentase asam lemak dihitung sebagai asam palmitat berdasarkan rumus berikut ini dan dinyatakan dalam 2 desimal.

$$\% \text{ Asam Lemak Bebas} = \frac{25,6 \times N \times V}{W} \dots(1)$$

dengan V adalah volume larutan titar yang digunakan dalam (ml); N adalah normalitas larutan titar; W adalah massa contoh uji (g); 25,6 adalah konstanta untuk menghitung kadar ALB sebagai asam palmitat.

Kadar beta karoten CPO diukur berdasarkan metode spektrofotometri (PORIM 2005). Sebanyak 0,1 gram sampel dilarutkan sampai homogen dengan pelarut n-heksana dalam labu ukur 25 mL. Selanjutnya, absorbansi larutan diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 446 nm. Kadar beta karoten dihitung menggunakan rumus:

$$KB \text{ (mg/kg)} = \frac{(25 \times \text{absorbansix } 383)}{(100 \times \text{beratsampel(g)})} \dots\dots(2)$$

dengan KB adalah kadar beta karoten; 25 adalah volume pengenceran; 383 adalah *extinction coefficient* untuk beta karoten; Abs adalah absorbansi sampel; W adalah berat sampel (g).

- d. Penentuan jenis adsorben terbaik
Penentuan jenis adsorben terbaik dilakukan dengan cara memilih adsorben yang mengadsorpsi kadar asam lemak bebas dan beta karoten paling besar berdasarkan data penentuan massa adsorben optimum.
6. Selektivitas adsorpsi
Selektivitas adsorpsi adsorben terhadap asam lemak bebas dan beta karoten ditentukan dengan membandingkan kadar kadar asam lemak bebas dan beta karoten yang diadsorpsi oleh adsorben. Hasilnya berupa nilai rasio adsorpsi dalam mol:mol.
7. Model isoterm adsorpsi
Isoterm adsorpsi ditentukan dengan penentuan nilai R^2 yang terbesar dari 2 metode isoterm adsorpsi, yaitu isoterm freundlich dan isoterm langmuir. Persamaan isoterm Freundlich dinyatakan pada fungsi berikut :

$$q = kC^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(3)$$

dengan q adalah konsentrasi solut dalam padatan pada saat kesetimbangan; C adalah konsentrasi solut dalam larutan pada saat kesetimbangan (M); k = konstanta; n = orde reaksi.

Persamaan isoterm Freundlich dapat dilinearisasi menjadi :

$$\log q = \frac{1}{n} \log C + \log k \dots\dots\dots(4)$$

Berdasarkan persamaan hasil linearisasi, dilakukan plot grafik antara $\log C$ sebagai sumbu x dengan $\log q$ sebagai sumbu y. Hasil plot grafik tersebut berupa garis lurus dengan *slope* $1/n$ dan *intercept* $\log k$. Dari nilai *slope* dan *intercept* grafik, dapat ditentukan nilai k dan n . Secara umum, nilai k akan menurun seiring dengan meningkatnya temperatur, sedangkan nilai n meningkat dengan adanya peningkatan temperatur dan nilai n akan mendekati 1 pada temperatur tinggi.

Persamaan isotherm Langmuir :

$$q = \frac{Kq_m C}{1 + KC} \text{ dengan } K = \frac{K_d}{K_a} \dots\dots\dots(5)$$

dengan:

q = konsentrasi solut fasa padat di permukaan partikel saat t

q_m = konsentrasi maksimum solut di permukaan adsorben

K_a = laju adsorpsi

K_d = laju desorpsi

C = konsentrasi solut fasa cair di pori partikel saat t

Persamaan isoterm Langmuir dapat dilinearisasi menjadi :

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{q_m K} + \frac{C}{q_m} \dots\dots\dots(6)$$

Berdasarkan persamaan hasil linearisasi, dilakukan plot grafik antara C sebagai sumbu x dengan C/q sebagai sumbu y. Hasil plot grafik tersebut berupa garis lurus dengan *slope* $1/q_m$ dan *intercept* $1/(q_m K)$. Dari nilai *slope* dan *intercept* grafik, dapat ditentukan nilai K dan q_m . Nilai K mengalami perubahan terhadap temperatur.

8. Kinetika adsorpsi

Kinetika adsorpsi ditentukan dengan penentuan nilai R^2 yang terbesar dari 2 model kinetika adsorpsi, yaitu model kinetika pseudo orde 1, dan model kinetika pseudo orde 2.

Persamaan kinetika orde satu semu yang populer dinyatakan oleh Lagergen (1982) dalam persamaan sebagai berikut :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \dots\dots\dots(7)$$

dengan q_e dan q_t berturut-turut adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g) pada keadaan kesetimbangan dan pada saat t (menit/jam/detik) dan k_1 adalah konstanta adsorpsi orde satu semu. Penurunan integral dari persamaan tersebut pada batas kondisi $t = 0$ dan t akan memberikan persamaan berikut :

$$\log \left(\frac{q_e}{q_e - q_t} \right) = \frac{k_1}{2,303t} \dots\dots\dots(8)$$

dan dapat disusun ulang menjadi :

$$\log (q_e - q_t) = \log (q_e - k_1) / 2,303t$$

Persamaan kinetika adsorpsi orde dua semu dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots(9)$$

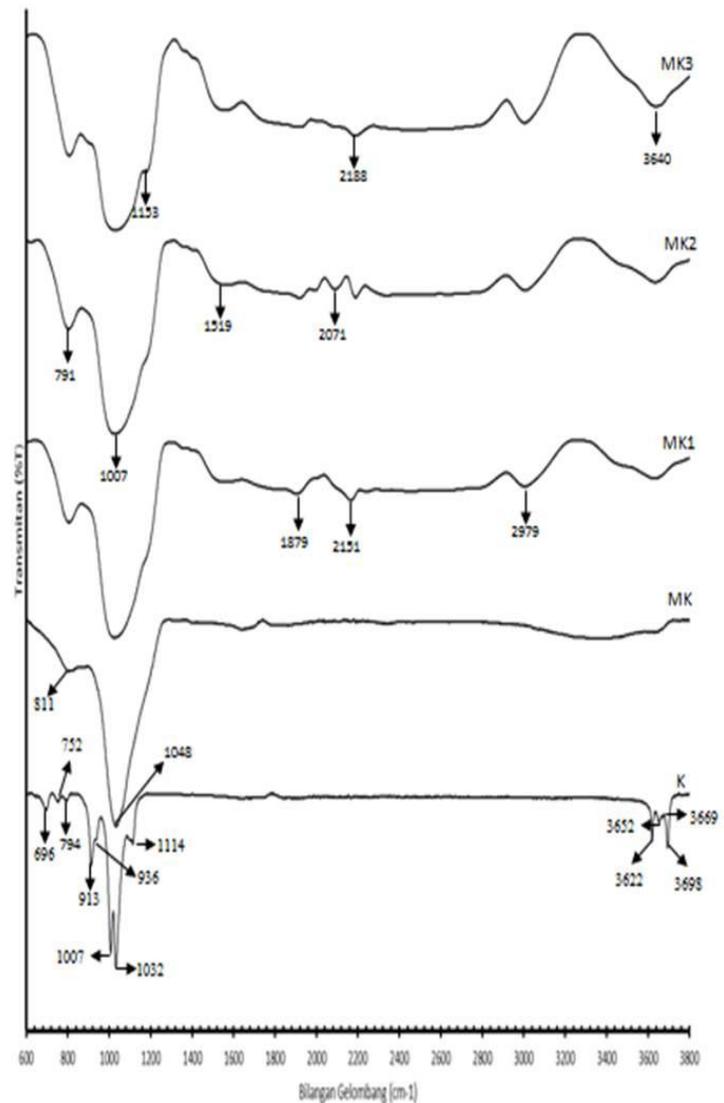
dengan q_e dan q_t berturut-turut adalah kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan dan pada waktu t (mg/g) dan k_2 adalah konstanta laju adsorpsi (g/mg.menit). Penurunan integral dari persamaan

tersebut pada batas kondisi $t = 0$ dan t akan memberikan persamaan berikut :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \dots\dots\dots(10)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Fourier Transmission Infra Red (FTIR)



Gambar 1. Spektra FTIR Kaolin (K), Metakaolin (MK), Metakaolin Teraktivasi K_2CO_3 0,5 M (MK1), Metakaolin Teraktivasi K_2CO_3 1M (MK2) dan Metakaolin Teraktivasi K_2CO_3 2 M (MK3).

Hasil analisis FTIR (gambar 1) memperlihatkan perbandingan antara spektra kaolin (K) sebelum dengan sesudah proses kalsinasi sehingga membentuk metakaolin (MK), serta metakaolin

yang diaktivasi dengan larutan K_2CO_3 0,5 M (MK1), 1 M (MK2) dan 2 M (MK3).

Gambar 1 menunjukkan serapan spektra inframerah kelima sampel yang cukup tajam pada daerah sekitar 700-1000 dan 3600 cm^{-1} . Sedangkan untuk sampel MK1, MK2, dan MK3 selain pada daerah tersebut, juga terlihat serapan spektra pada daerah 1500; 2000 dan 3000 cm^{-1} . Puncak serapan tajam pada daerah sekitar 1000 cm^{-1} adalah karakteristik vibrasi ulur dari Si-O. Serapan kuat pada daerah 950-1250 cm^{-1} adalah vibrasi ulur dari M-O (dimana M = Si atau Al) yang melibatkan gerakan utama dari atom oksigen Si-O. Sedangkan serapan pada daerah sekitar 1500 dan 3000 cm^{-1} berturut-turut adalah untuk vibrasi tekuk -OH yang terperangkap dalam kisi kristal dan vibrasi ulur -OH. Puncak serapan di sekitar di daerah sekitar 3600 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur -OH yang memiliki perbedaan lingkungan, yaitu -OH yang terikat pada atom Al oktahedral, pada permukaan silikat atau pada antar lapis silikat. Dari seluruh data puncak-puncak serapan tersebut, dapat diperoleh informasi bahwa sampel yang diperiksa terdiri dari mineral yang memiliki gugus fungsional -OH dan Si-O. Dengan demikian dapat disimpulkan secara umum bahwa kelima sampel yang dianalisis adalah keluarga mineral silikat yang menyerap air. Hal ini mengarahkan dugaan pada berbagai mineral silikat kelompok lempung yang menyerap air seperti kaolinit, haloisit, klorit, smektit (*clay*) dan ilit.

Pada spektra FTIR dari sampel kaolin (K) sebelum proses kalsinasi pada Gambar 1, terlihat puncak serapan tajam pada bilangan gelombang 1007 dan 1032 cm^{-1} menunjukkan vibrasi Si-O yang merupakan serapan khas dari mineral kaolinit. Selain itu, puncak serapan pada daerah 3698 cm^{-1} dan 3622 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur -OH yang memiliki perbedaan lingkungan yaitu -OH yang terikat pada atom Al oktahedral pada permukaan dan pada antar lapis silikat. Puncak serapan pada daerah 1114 dan 752 cm^{-1} menunjukkan vibrasi asimetris Si-O-Si, 913 cm^{-1} sesuai dengan vibrasi ulur Al-OH, 794 cm^{-1} sesuai dengan vibrasi ulur Si-O, dan 696 cm^{-1} sesuai dengan vibrasi ulur tegak lurus Si-O. Hal ini menunjukkan bahwa struktur kaolin asal desa Capkala Kabupaten Bengkayang, Kalimantan

Barat dapat digolongkan ke dalam keluarga mineral silikat alumina yang mengarah pada mineral kaolinit [22][16].

Tabel 1. Puncak serapan sampel kaolin dan kaolin secara teoritis[23]

Sampel	K	Keterangan
K (cm^{-1})	Toritis* (cm^{-1})	
3698	3694	Vibrasi OH ⁻ (Al---O-H struktur)
3622	3620	Vibrasi OH ⁻ (Al---O-H struktur inter-oktahedral)
1114	1114	Vibrasi simetris Si-O-Si
1032	1032	Vibrasi Si-O ⁻
1007	1010	Vibrasi Si-O ⁻
936		Vibrasi OH ⁻ (Al---O-H struktur inter-oktahedral)
913	912	Vibrasi Al---O-H struktur
794		Vibrasi Si-O struktur
752	752	Vibrasi simetris Si-O-Al
696	693	Vibrasi Si-O struktur

Pada spektra FTIR (Gambar 1) dari sampel metakaolin (MK) terlihat beberapa puncak yang ada pada spektra kaolin sebelum kalsinasi menghilang. Hilangnya puncak serapan gugus -OH pada daerah 3698 cm^{-1} dan 3622 cm^{-1} setelah kalsinasi disebabkan oleh dehidroksilasi (pelepasan gugus -OH) akibat pemanasan yang melibatkan suhu tinggi membentuk metakaolin. Puncak serapan yang terlihat pada spektra metakaolin hanya pada bilangan gelombang 1038 cm^{-1} dan 811 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan hancurnya struktur kaolin yang berupa lapisan tetrahedral selama proses kalsinasi, dan adanya struktur silika atau kuarsa yang tidak terpengaruh dengan proses kalsinasi. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa terjadi perubahan struktur kaolin menjadi metakaolin.

Pada spektra FTIR (Gambar 1) juga menunjukkan pengaruh dari aktivasi menggunakan larutan K_2CO_3 terhadap metakaolin. Pengaruh ini terlihat dari munculnya puncak-puncak baru seperti pada daerah 1153, 1519, 1879-2188, 2979 dan 3640 cm^{-1} yang sebelumnya pada spektra metakaolin tidak nampak dan mempertahankan puncak yang sudah ada seperti pada daerah 790-1050 cm^{-1} . Puncak serapan pada 790-1050 cm^{-1} dan 1153 cm^{-1} berturut turut menunjukkan vibrasi

Si-O dan vibrasi Si-O-Si. Puncak serapan pada 1519-2979 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi berturut-turut adalah untuk vibrasi tekuk -OH yang terperangkap dalam kisi kristal dan vibrasi ulur -OH. Puncak serapan di sekitar di daerah sekitar 3600 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur -OH yang memiliki perbedaan lingkungan, yaitu -OH yang terikat pada atom Al oktahedral, pada permukaan silikat atau pada antar lapis silikat. Munculnya puncak-puncak baru pada spektra FTIR MK1, MK2, dan MK3 menunjukkan terbentuknya stuktur baru yang berbeda dari metakaolin dan mirip seperti puncak spektra FTIR pada struktur zeolite [22].

2. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

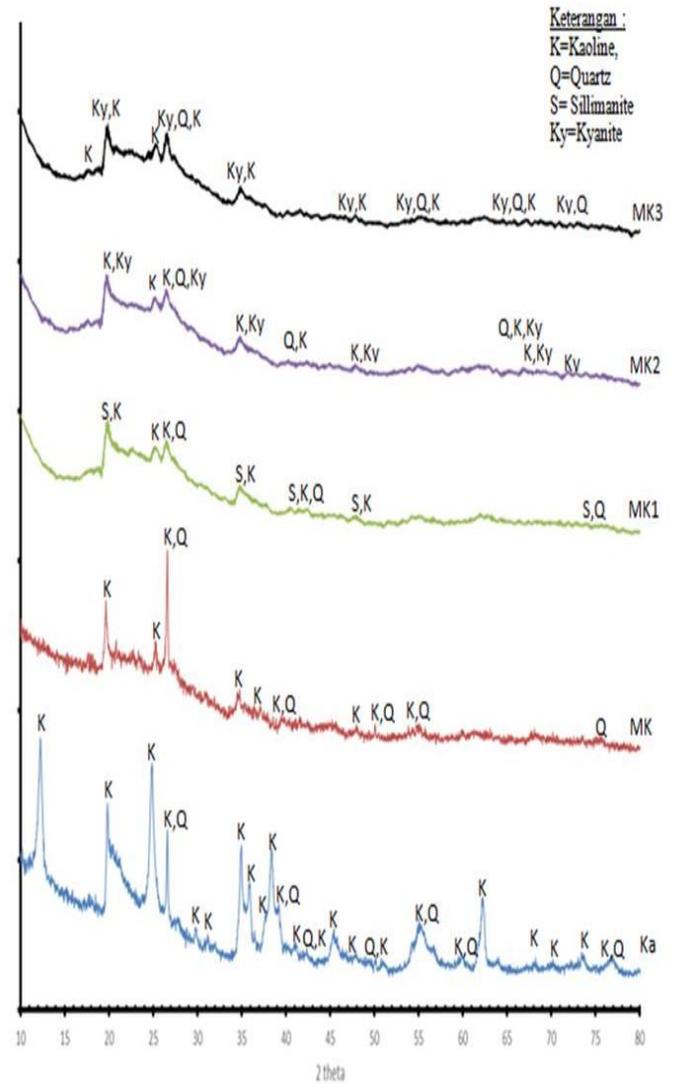
Komponen penyusun mineral kaolin Desa Capkala diidentifikasi dengan membandingkan posisi puncak intensitas difraksi (2θ) pada difraktogram sinar-X dengan posisi puncak intensitas difraksi (2θ) standar kaolinit pada *Joint Committee for Powder Diffraction Standards* (JCPDS) ditunjukkan di Tabel 2.

Tabel 2. Data 2θ dan d spacing dari kaolin dan metakaolin dengan data standar JCPDSkaolinit.

			Sampel		
			Kaolin (K)		
2θ	d spacing	Bidang	2θ	d spacing	Int (%)
12,41	7,13	d_{001}	12,28	7,21	92,67
20,38	4,35	d_{110}	19,81	4,48	61,51
24,96	3,46	d_{002}	24,92	3,57	100
26,88	3,31	d_{120}	26,61	3,35	63,33

Data hasil analisis XRD pada Tabel 2 menunjukkan puncak karakteristik serapan dari kaolin hasil preparasi pada bidang d_{001} dengan sudut $2\theta=12,2795^\circ$ (7,2081) dan bidang d_{002} dengan sudut $2\theta=24,9152^\circ$ (3,5738) yang memiliki % intensitas relatif berturut-turut 92,67% dan 100%. Sedangkan puncak serapan dari metakaolin ditunjukkan pada bidang d_{002} saja dengan sudut $2\theta=25,2509^\circ$ (3,5327) yang memiliki % intensitas relatif 24,09%. Data analisis XRD juga menunjukkan puncak difraksi dari mineral kuarsa pada bidang d_{110} dengan sudut $2\theta=19,8103^\circ$ (4,4817) dan bidang d_{120} dengan sudut $2\theta=26,6094^\circ$ (3,3500) yang memiliki % intensitas relatif berturut-turut 61,51% dan 63,33%. Adanya puncak karakteristik serapan pada bidang d_{001} dan d_{002} yang merupakan ciri dari kaolinit serta bidang d_{110} dan d_{120} yang merupakan ciri dari

mineral kuarsa. Berdasarkan hasil tersebut semakin memperkuat hasil analisis FTIR untuk (Gambar 1) bahwa sampel kaolin yang digunakan merupakan mengandung kaolinit dan kuarsa.

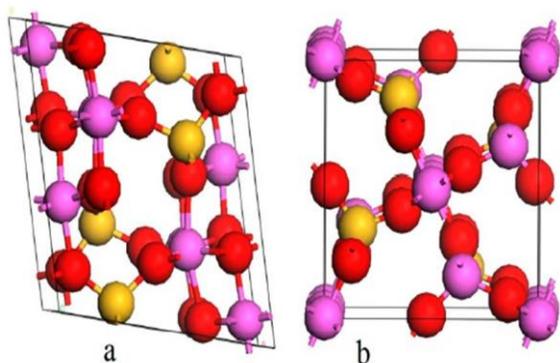


Gambar 3. Difraktogram Kaolin (Ka), Metakaolin (MK), Metakaolin Teraktivasi K_2CO_3 0,5 M (MK1), Metakaolin Teraktivasi K_2CO_3 1M (MK2) dan Metakaolin Teraktivasi K_2CO_3 2 M (MK2) pada $2\theta = 10^\circ - 80^\circ$.

Gambar 3 menunjukkan perbandingan antara posisi puncak intensitas difraksi (2θ), d spacing, dan intensitas relatif MK1, MK2, dan MK3 dengan metakaolin (MK). Pada gambar 3, terlihat pengaruh aktivasi menggunakan larutan K_2CO_3 terhadap nilai 2θ , d spacing, dan intensitas relatif dari metakaolin yaitu hilang dan munculnya beberapa puncak pada

diagrogram MK (gambar 3). Pada data untuk MK1 terlihat hilangnya sudut $2\theta = 37,14; 39,48; 48,02; 50,08$ dan $54,97 \text{ \AA}$ yang merupakan penciri jarak dasar mineral kaolinite, dan munculnya sudut $2\theta = 42,42; 47,63$ dan $88,74 \text{ \AA}$ yang merupakan penciri jarak dasar mineral sillimanite. Pada data MK2 terlihat hilangnya sudut $2\theta = 37,14; 39,48; 48,02; 50,08; 54,97$ dan $75,48 \text{ \AA}$ yang merupakan penciri jarak dasar mineral kaolinite dan kuarsa, serta munculnya sudut $2\theta = 42,57; 65,29; 66,86; 71,88$ dan $86,42 \text{ \AA}$ yang merupakan penciri jarak dasar mineral kyanite dan kuarsa. Pada data MK3 terlihat hilangnya sudut $2\theta = 37,14; 39,48; 48,02; 50,08$ dan $75,48 \text{ \AA}$ yang merupakan penciri jarak dasar mineral kaolinite dan kuarsa, serta munculnya sudut $2\theta = 17,67; 47,85; 67,16; 72,88$ dan $80,35 \text{ \AA}$ yang berturut-turut merupakan penciri jarak dasar mineral kaolinite, kyanite dan kuarsa.

Hasil analisis XRD juga mengkonfirmasi hasil analisis FTIR (Gambar 1), dimana ditemukan puncak-puncak yang baru pada spektra MK1, MK2, dan MK3 yang berbeda dari spektra MK yaitu pada MK1 ditemukan kelompok senyawa aluminiumsilikat lain selain kaolinite, yaitu *sillimanite*, dan *kyanite* pada MK2 serta MK3.



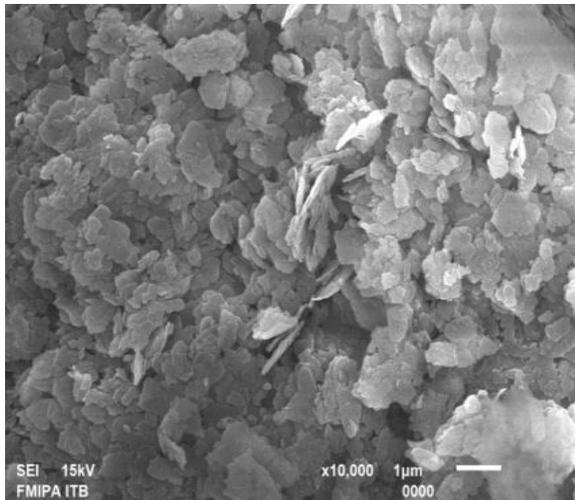
Gambar 4. Struktur kyanite (a), dan sillimanite (b). Warna atom pink = Al, merah = O, dan kuning = Si [24].

Pada gambar 4 terlihat bahwa mineral sillimanite dan kyanite memiliki struktur yang hampir sama, dimana sillimanite terdiri dari lapisan silika tetrahedral dan alumina oktahedral, sedangkan kyanite hanya tersusun dari lapisan silika dan alumina oktahedral. Untuk komposisi kimia antara sillimanite dan kyanite tidak berbeda yaitu senyawa Al_2SiO_5 . Zeolit tersusun dari struktur tetrahedral silika dan alumina yang membentuk blok-blok bangunan yang dihubungkan

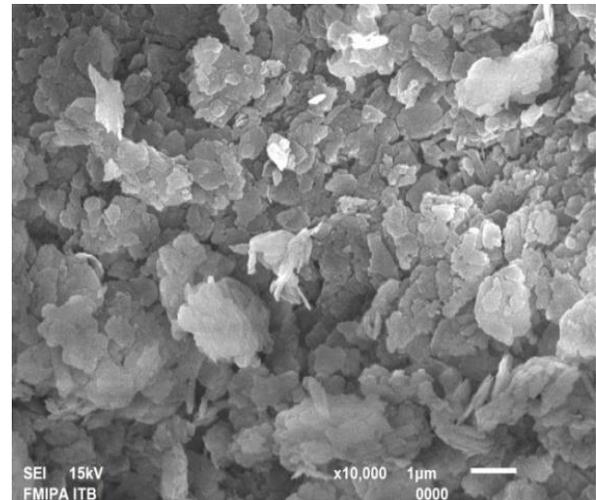
oleh atom oksigen. Salah satu blok bangunan tersebut adalah berbentuk oktahedral yang sering disebut dengan sangkar sodalit tersusim dari 24 mata rantai tetrahedral silika dan alumina. Sedangkan secara komposisi kimia, zeolit terdiri dari $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8^{2-}$ dimana muatan negatif zeolit dapat diimbangi dengan adanya kation-kation logam alkali atau alkali tanah didalam rongga-rongganya seperti Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} atau Ba^{2+} yang berfungsi sebagai kation penetral. Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat dikatakan bahwa sillimanite dan kyanite memiliki kemiripan dengan zeolite karena masih dalam kelompok yang sama yaitu senyawa aluminiumsilikat. Reaksi antara metakaolin dengan basa menghasilkan stuktur yang menyerupai struktur zeolite [22][20][18]. Hal tersebut dikarenakan metakaolin tidak stabil pada kondisi basa sehingga merubah struktur lempung menjadi struktur menyerupai zeolit.

3. Analisis Scanning Electron Microscopes-Energy Disperation X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)

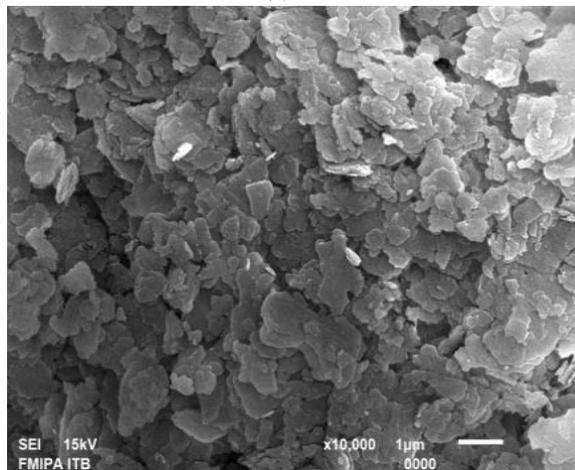
Analisis morfologi dari kaolin, metakaolin dan metakaolin teraktivasi K_2CO_3 0,5 M, 1 M dan 2 M berupa hasil foto menggunakan SEM disajikan pada Gambar 5 yang menunjukkan bahwa kandungan dominan dari morfologi khas kaolinit yang berupa kelompok lembaran heksagonal berlapis dengan ukuran yang heterogen. Struktur kaolinit, metakaolin dan metakaolin teraktivasi K_2CO_3 0,5 M, 1 M dan 2 M memiliki ukuran 1-10 μm dengan jumlah lembaran tiap lapis sekitar 10-50 buah. Gambar foto SEM kaolinit setelah proses kalsinasi menunjukkan perubahan morfologi dari kaolinit dengan penampakan berupa telah hancurnya lembaran heksagonal dari kaolinit awal. Sedangkan pengaruh dari aktivasi metakaolin dengan K_2CO_3 0,5 M, 1 M dan 2 M merubah morfologi dari metakaolin menjadi struktur menyerupai zeolit berupa kristal yang berbentuk kubus atau persegi.



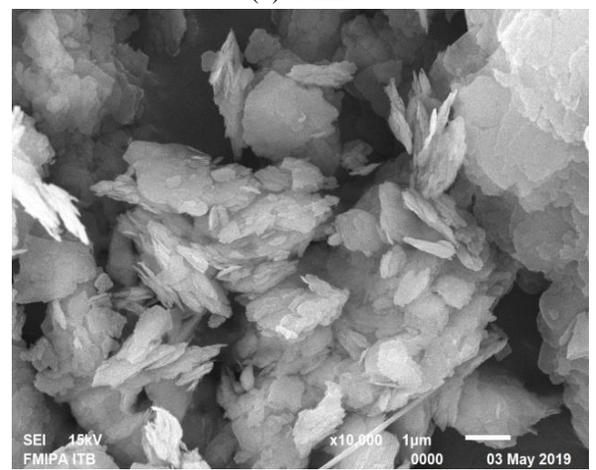
(a). K



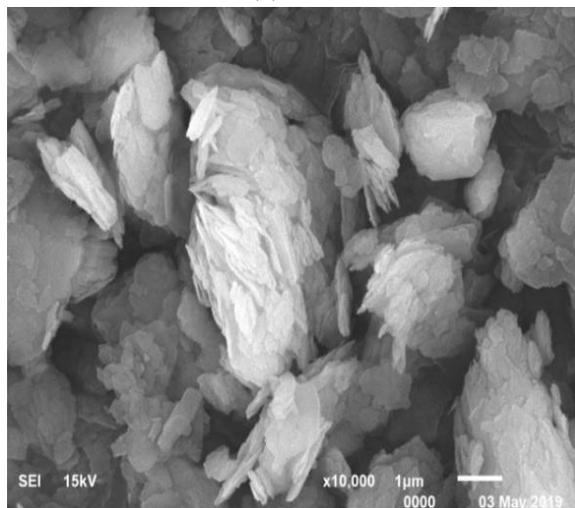
(d). MK2



(b). MK



(e). MK3



(c). MK1

Gambar 5. SEM Kaolin (a), Metakaolin (b), Metakolin K_2CO_3 0,5 M (c), Metakolin K_2CO_3 1 M (d), dan Metakolin K_2CO_3 2 M (e)

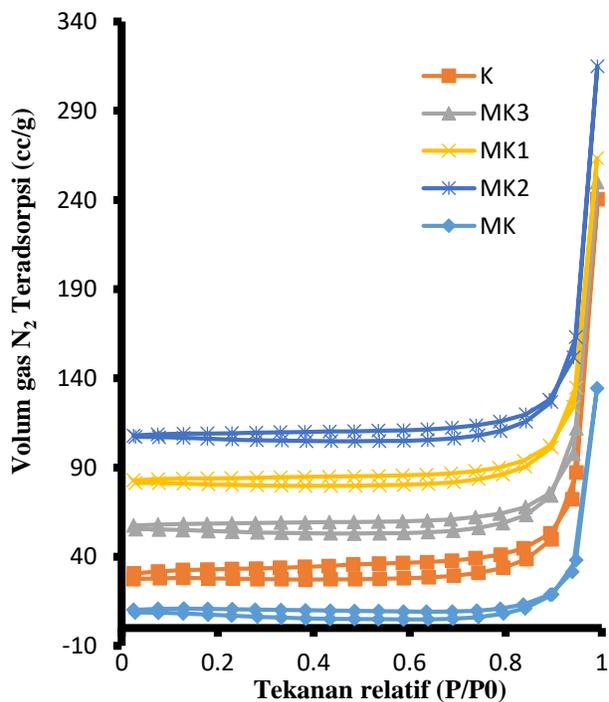
Perubahan komposisi unsur diselidiki oleh EDX (Tabel 4). Sampel kaolinit yang diuji adalah kaya akan silikon dan aluminium. Selain itu terdapat unsur pengotor, seperti K, tergantung pada jenis reagen yang digunakan. Komposisi Si dan Al setelah mengalami kalsinasi dan aktivasi dengan K_2CO_3 semakin bertambah, karena diikuti dengan berkurangnya unsur O. Hal ini menunjukkan resistensi dari mineral kaolin alami terhadap proses kalsinasi dan aktivasi dengan K_2CO_3 yang bersifat basa.

[24]Tabel 4.Data Hasil Analisis EDX

Unsur	Wt %				
	K	MK	MK1	MK2	MK3
O	67,76	66,16	60,52	60,73	50,90
Al	15,61	15,86	17,59	18,21	20,59
Si	16,63	17,53	19,99	19,20	23,64
K	0	0,45	1,91	1,39	4,87
Si/Al	1,065	1,105	1,136	1,065	1,148

4. Analisis Brunaur, Emmet, and Teller (BET)

Identifikasi porositas adsorben menggunakan metode adsorpsi gas nitrogen. Selain untuk mengetahui ukuran pori adsorben, hasil analisis dengan metode adsorpsi gas nitrogen juga memberikan informasi tentang pola adsorpsi-desorpsi, distribusi ukuran pori, dan luas permukaan spesifik dari adsorben.

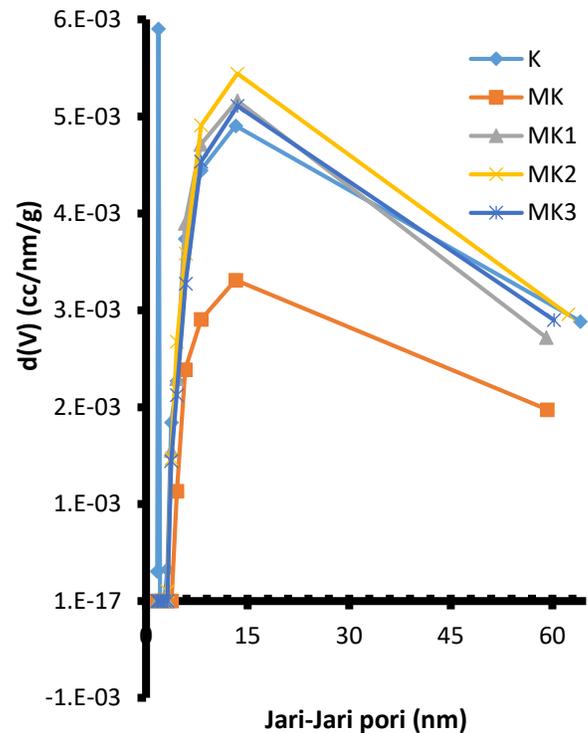


Gambar 6. Grafik isotherm Adsorpsi-Desorpsi gas Nitrogen pada sampel K, MK, MK1, MK2 dan MK3.

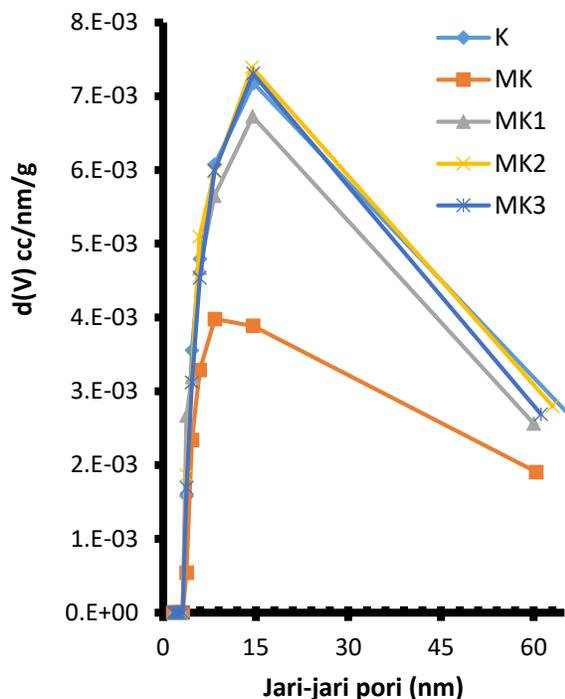
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, isotherm adsorpsi gas nitrogen untuk sampel K, MK, MK1, MK2 dan MK3 hampir sama. Isotherm ini adalah tipe IV dalam BDDT (Brunauer, Deming, Deming, dan Teller) dan tipe H4 histeresis dalam sistem klasifikasi IUPAC (*International Union of Pure and Applied*

Chemistry). Isotherm tipe IV menunjukkan bahan mesopori dengan pori-pori berbentuk celah, yang sebagian besar muncul dalam lempung struktur berlapis. Isotherm histeresis tipe H4 menunjukkan akumulasi partikel berlapis dengan ukuran mikropori yang dominan. Klasifikasi ini menunjukkan area permukaan yang luas untuk partikel dan porositas tinggi untuk masing-masing massa sampel.

Klasifikasi ukuran pori adsorben berdasarkan IUPAC dapat dilakukan dengan menggunakan metode analisis distribusi pori. Distribusi pori diperoleh dengan cara membuat grafik hubungan $dV(r)$ dengan jejari pori. Berdasarkan Gambar 7 dan 8 dapat diketahui adsorben K, MK, MK1, MK2 dan MK3 memiliki distribusi ukuran pori-pori yang heterogen, tetapi yang dominan pada 13-15 nm sehingga dapat dikategorikan material mesopori.



Gambar 7. Grafik distribusi pori berdasarkan analisis BJH adsorpsi gas Nitrogen pada sampel K, MK, MK1, MK2 dan MK3.



Gambar 8. Grafik distribusi pori berdasarkan analisis BJH desorpsi gas Nitrogen pada sampel K, MK, MK1, MK2 dan MK3.

Tabel 5. Data Hasil Analisis BET

Sampel	Luas Permukaan Spesifik BET, a_s BET (m^2g^{-1})	Total Volume Pori ($10^{-2}\text{cm}^3\text{g}^{-1}$)	Rata-Rata Diameter Pori, d_p (nm)
K	26,12	7,323	5,606
MK	15,91	4,113	5,171
MK1	28,04	7,613	5,430
MK2	28,74	8,018	5,579
MK3	26,82	7,402	5,519

Hasil analisis BET disajikan pada Tabel 5, menunjukkan luas permukaan, volume pori, dan rata-rata diameter pori dari sampel MK2 masing-masing adalah $28,74 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, $8,018 \times 10^{-2}\text{cm}^3\text{g}^{-1}$, dan $5,579 \text{ nm}$. Hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan dan volume pori adsorben MK2 paling besar jika dibandingkan dengan K, MK, MK1 dan MK2. Sedangkan untuk rata-rata diameter pori MK2 lebih besar jika dibandingkan dengan MK, MK1, dan MK3 tetapi lebih kecil dari K. Luas permukaan, volume pori, dan rata-rata diameter pori berkurang setelah kaolin

mengalami kalsinasi. Hal ini dikarenakan terlepasnya molekul air akibat pemanasan dan peningkatan kristalinitas seperti yang ditunjukkan oleh hasil XRD (Gambar 3) dan SEM (Gambar 5).

Pengaruh aktivasi dengan K_2CO_3 meningkatkan kembali luas permukaan, volume pori dan rata-rata diameter pori dari MK. Peningkatan ini terjadi karena terjadi penataan ulang kristal struktur, sebagai hasil dari reaksi antara basa dan metakaolin. Aktivasi dengan larutan K_2CO_3 telah terbukti meningkatkan luas permukaan spesifik, volume pori total dan rata-rata diameter pori dari metakaolin. Peningkatan luas permukaan spesifik dikarenakan disagregasi atau pemisahan partikel-partikel kaolinite[22].

Pengaruh variasi konsentrasi K_2CO_3 terhadap luas permukaan, volume pori, dan rata-rata diameter pori adsorben juga terlihat dari Tabel 5. Konsentrasi K_2CO_3 1 M memberikan pengaruh yang paling baik dibandingkan konsentrasi K_2CO_3 0,5 dan 2 M. Selain itu juga terlihat semakin besar konsentrasi K_2CO_3 yang digunakan memberikan penurunan luas permukaan, volume pori, dan rata-rata diameter pori dari adsorben. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara MK2 dan MK3 dimana luas permukaan, volume pori, dan rata-rata diameter pori MK3 lebih kecil dibandingkan MK2.

5. Adsorpsi Asam Lemak Bebas dan Beta Karoten

Di dalam penelitian ini variabel yang dipelajari adalah pengaruh massa dan waktu adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten pada CPO dengan menggunakan kaolin, metakaolin dan metakaolin yang sudah diaktivasi menggunakan Kalium Karbonat dengan konsentrasi 0,5 M, 1 M, dan 2 M sebagai adsorbennya. Pengaruh waktu adsorpsi yang dipelajaridialah 0, 15, 30, 60, 180 dan 240 menit. Setelah diketahui kondisi optimum pengaruh waktu adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten pada CPO, maka selanjutnya dipelajari pengaruh massa adsorben. Massa adsorben yang dipelajaridialah 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, dan 0,5 gram. Sementaraitu variabel lain yang dijagatetapyaitu volume CPO 10 mL dan suhu pemanasan 50°C .

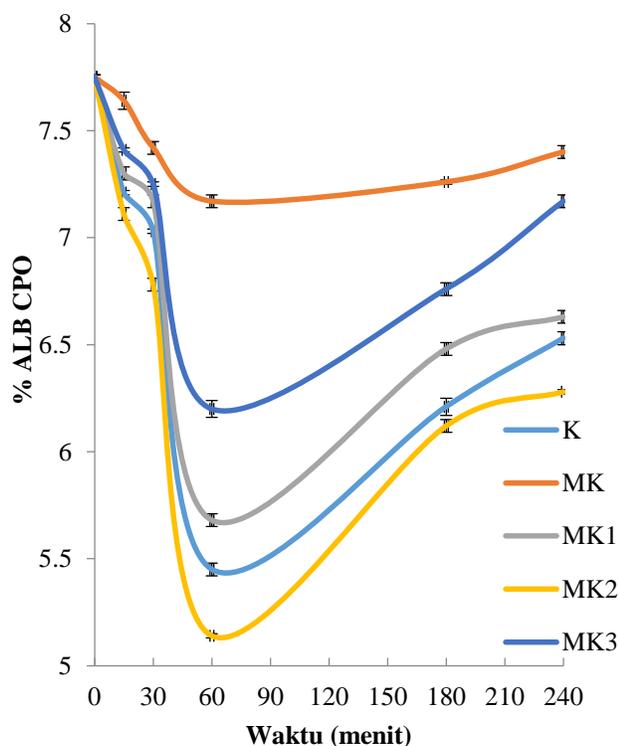
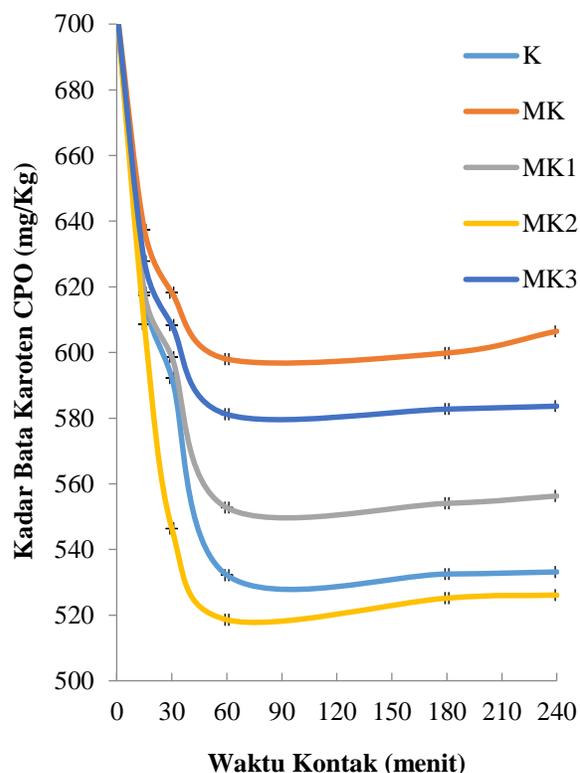
Pengaruh waktu kontak adsorben terhadap kadar Asam Lemak Bebas (ALB) dan Beta karoten pada CPO dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7, serta Gambar 9, dan 10.

Tabel 6. Pengaruh waktu kontak terhadap kadar ALB CPO

Waktu Kontak (menit)	% ALB Sample CPO				
	K	MK	MK1	MK2	MK3
0	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01
15	7,21 ± 0,01	7,64 ± 0,04	7,30 ± 0,03	7,11 ± 0,03	7,41 ± 0,01
30	7,03 ± 0,01	7,42 ± 0,03	7,17 ± 0,03	6,78 ± 0,03	7,25 ± 0,01
60	5,45 ± 0,03	7,17 ± 0,03	5,68 ± 0,03	5,14 ± 0,01	6,20 ± 0,04
180	6,21 ± 0,04	7,26 ± 0,01	6,48 ± 0,03	6,12 ± 0,03	6,76 ± 0,03
240	6,53 ± 0,03	7,4 ± 0,03	6,63 ± 0,03	6,28 ± 0,01	7,17 ± 0,03

Tabel 7. Pengaruh waktu kontak terhadap kadar β karoten CPO

Waktu Kontak (menit)	Kadar β Karoten CPO (mg/kg)				
	K	MK	MK1	MK2	MK3
0	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12
15	617,49 ± 1,32	637,38 ± 1,09	618,23 ± 1,15	608,65 ± 1,05	627,80 ± 1,16
30	592,28 ± 1,44	618,23 ± 1,60	598,60 ± 0,96	546,41 ± 1,25	608,33 ± 1,17
60	532,21 ± 0,43	597,96 ± 0,76	552,76 ± 1,76	518,61 ± 0,81	581,20 ± 0,44
180	532,53 ± 1,16	599,81 ± 1,21	554,07 ± 1,63	525,19 ± 0,72	582,80 ± 0,58
240	533,17 ± 1,68	606,45 ± 0,81	556,31 ± 0,94	526,11 ± 0,96	583,69 ± 0,85

**Gambar 9.** Grafik pengaruh waktu kontak terhadap kadar ALB CPO**Gambar 10.** Grafik pengaruh waktu kontak terhadap kadar β karoten CPO

Waktu kontak yang terbaik dilihat dari kadar ALB paling banyak teradsorpsi dan kadar beta karoten yang paling banyak teradsorpsi di waktu tersebut.

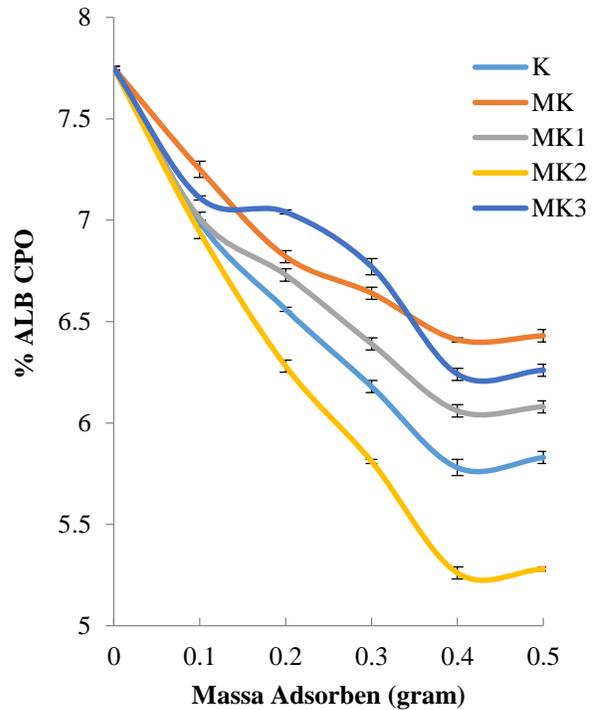
Sedangkan jenis adsorben yang paling baik adalah adsorben yang paling banyak menyerap kadar ALB dan kadar beta karoten dalam CPO. Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa kadar ALB mengalami penurunan paling besar ketika diadsorbsi dengan semua jenis adsorben pada waktu 60 menit dan jenis adsorben yang paling banyak menyerap ALB yaitu sebesar 2,61 % (dari 7,75 menjadi 5,14) adalah Metakaolin Teraktivasi K_2CO_3 1 M. Sedangkan pada Tabel 7 dan Gambar 10 menunjukkan pada waktu 60 menit kadar beta karoten mengalami penurunan yang paling besar, yaitu sebesar 185,79 mg/kg (26,37 %). Berdasarkan kedua hasil tersebut maka waktu kontak yang terbaik adalah 60 menit dan jenis adsorben yang terbaik adalah jenis MK2.

Pengaruh massa adsorben diketahui dengan cara memasukkan ke dalam 6 botol ditambahkan masing-masing 10 mL sampel minyak sawit mentah. Botol 1 sampai botol 5 ditambahkan masing-masing sebanyak 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, dan 0,5 gram adsorben. Campuran tersebut dipanaskan hingga mencapai suhu 50°C, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirer* dan kontrol suhu selama waktu optimum. Setelah itu dilakukan pemisahan adsorben menggunakan *sentrifuse* (2500 rpm selama 10 menit). Setelah itu disaring dan diambil filtratnya, kemudian diukur kadar asam lemak bebas (ALB) dan beta karoten minyak tersebut.

Pengaruh massa adsorben terhadap kadar asam lemak bebas dan beta karoten pada CPO dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9, serta Gambar 11 dan 12.

Tabel 8. Pengaruh massa adsorben terhadap kadar ALB CPO

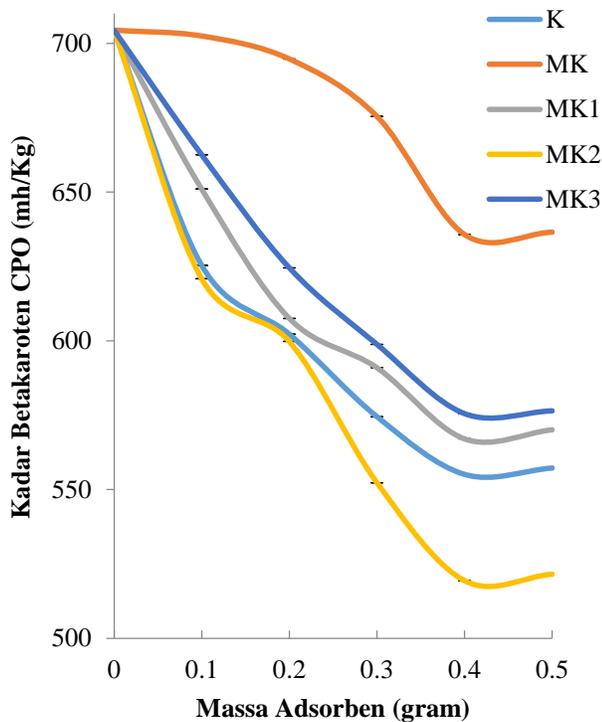
Massa Adsorben (gram)	% ALB Sample CPO				
	K	MK	MK1	MK2	MK3
0	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01	7,75 ± 0,01
0,1	6,99 ± 0,03	7,25 ± 0,01	7,01 ± 0,03	6,94 ± 0,03	7,11 ± 0,01
0,2	6,56 ± 0,01	6,82 ± 0,01	6,73 ± 0,03	6,28 ± 0,01	6,75 ± 0,03
0,3	6,18 ± 0,01	6,64 ± 0,01	6,39 ± 0,01	5,81 ± 0,03	6,48 ± 0,01
0,4	5,78 ± 0,01	6,41 ± 0,01	6,06 ± 0,01	5,26 ± 0,01	6,24 ± 0,01
0,5	5,83 ± 0,01	6,43 ± 0,01	6,08 ± 0,01	5,28 ± 0,01	6,26 ± 0,01



Gambar 11. Grafik pengaruh massa adsorben terhadap kadar ALB CPO

Tabel 9. Pengaruh massa adsorben terhadap kadar Beta karoten CPO

Massa Adsorben (gram)	Kadar β Karoten CPO (mg/kg)				
	K	MK	MK1	MK2	MK3
0	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12	704,40 ± 1,12
0,1	625,31 ± 0,68	702,45 ± 1,04	651,00 ± 1,05	620,87 ± 0,96	662,51 ± 0,96
0,2	602,20 ± 0,43	694,73 ± 0,96	607,53 ± 1,92	599,78 ± 1,12	624,51 ± 1,01
0,3	574,47 ± 1,99	675,42 ± 0,95	590,97 ± 0,91	552,32 ± 1,15	598,79 ± 1,06
0,4	555,06 ± 0,97	635,68 ± 1,07	567,06 ± 1,20	519,41 ± 0,92	575,49 ± 1,83
0,5	557,20 ± 0,15	636,48 ± 0,24	570,13 ± 0,96	521,61 ± 1,01	576,45 ± 1,01



Gambar 12. Grafik pengaruh massa adsorben terhadap kadar β Karoten CPO

Massa adsorban yang terbaik dilihat dari kadar ALB paling banyak teradsorpsi dan kadar beta karoten yang paling banyak teradsorpsi pada massa adsorben tersebut. Berdasarkan Tabel 8 dan 9 serta Gambar 11 dan 12 menunjukkan bahwa kadar ALB dan beta karoten mengalami penurunan ketika diadsorpsi dengan semua jenis adsorben. Massa adsorben yang terbaik adalah 0,4 gram /10 mL CPO untuk semua jenis adsorben untuk kadar ALB, dan kadar beta karoten.

Berdasarkan hasil penentuan waktu kontak dan massa adsorben diperoleh bahwa waktu kontak optimum adsorpsi adalah 1 jam dan massa adsorben optimum 0,4 gram. Serta jenis adsorben yang paling baik dalam menyerap ALB dan β -karoten adalah MK2. Jenis adsorben MK2 memiliki luas permukaan dan volume pori yang paling besar dibandingkan jenis adsorben yang lain seperti pada Tabel 5, sehingga jumlah ALB dan β -karoten lebih banyak diadsorpsi dibandingkan jenis adsorben lainnya. Selain itu, rata-rata diameter pori juga berpengaruh terhadap proses adsorpsi yang terjadi, hal ini terlihat dari jenis adsorben K yang memiliki rata-rata diameter pori paling besar, sehingga mampu mengadsorpsi ALB dan β -karoten terbaik ke 2.

Untuk kadar karoten menurun dikarenakan 2 sebab yaitu selain dikarenakan terikat adsorben, lama pemanasan juga dapat menurunkan kadar beta karoten. Hal ini menunjukkan bahwa metakaolin yang diaktivasi dengan K_2CO_3 dapat digunakan untuk mengadsorpsi ALB dan β -karoten pada CPO [25] [26] [27].

Selektivitas adsorpsi suatu adsorben adalah kemampuan adsorben dalam menyerap suatu jenis adsorbat. Dalam penelitian ini, selektivitas adsorpsi adsorben yang ditentukan terhadap 2 jenis adsorbat pada CPO yaitu asam lemak bebas dan beta karoten. Selektivitas adsorpsi dinyatakan dengan rasio adsorpsi. Rasio adsorpsi ditentukan dengan membandingkan jumlah adsorbat yang teradsorpsi (dalam mol) sehingga didapatkan bilangan bulat dan sederhana.

Tabel 10. Rasio Adsorpsi ALB dan β -karoten CPO pada waktu kontak 60 menit dan Massa Adsorben 0,4 gram.

Jenis Adsorben	Rata-Rata ALB Teradsorpsi (mol)	Rata-Rata β Karotenoid Teradsorpsi (mol)	Rasio Adsorpsi ALB : β Karotenoid	
			ALB (mol)	β Karotenoid (mol)
Kaolin	$3,8 \times 10^{-5}$	$2,8 \times 10^{-4}$	1	11
MK	$2,6 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-4}$	1	5
MK1	$3,3 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-4}$	1	10
MK 2	$4,9 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-4}$	2	13
MK 3	$2,9 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-4}$	1	9

Berdasarkan Tabel 10, terlihat bahwa jenis adsorben MK2 mampu mengadsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten paling baik jika dibandingkan jenis adsorben lainnya dengan rasio 2:13. Selain itu, terlihat semua jenis adsorben lebih banyak atau lebih besar menyerap beta karoten dibandingkan asam lemak bebas yang berarti selektivitas adsorpsi terjadi antara kedua jenis adsorbat tersebut. Selain itu, dari Tabel 10 juga diketahui bahwa konsentrasi (mol) beta karoten lebih banyak dibandingkan konsentrasi (mol) asam lemak bebas dalam CPO. Sehingga secara laju reaksi beta karoten akan lebih banyak bereaksi dengan adsorben dibandingkan dengan asam lemak bebas.

6. Isoterm Adsorpsi

Sifat adsorpsi dan parameter kesetimbangan, umumnya dikenal sebagai adsorpsi isoterm, jelaskan interaksi adsorbat dengan adsorben, meningkatkan pemahaman tentang sifat interaksi. Isoterm memberikan informasi tentang penggunaan adsorben yang optimal. Saat mengoptimalkan desain dari sistem adsorpsi, sangat penting untuk membangun korelasi yang paling tepat untuk kurva keseimbangan. Beberapa persamaan isoterm tersedia untuk analisis parameter kesetimbangan serapan eksperimental. Namun, Model Langmuir dan Freundlich adalah yang paling luas tipe isoterm yang digunakan.

Model ini digunakan untuk menjelaskan interaksi antara Asam Lemak Bebas (ALB) dan Beta karoten dengan adsorben dalam penelitian ini. Model terbaik untuk menjelaskan tren adsorpsi dan didasarkan pada alasan bahwa adsorben menjadi jenuh dengan adsorbat setelah waktu kontak yang cukup lama. Freundlich isoterm menjelaskan adsorpsi nonspesifik dari sistem heterogen dan adsorpsi reversibel.

Tabel 11. Nilai R^2 dan persamaan isoterm Freundlich dan Langmuir pada Adsorpsi asam lemak bebas (ALB) dan Beta karoten

Adsorbat	Jenis Adsorben	Freundlich			
		K_F (mg/gr)	1/n	R^2	
Asam Lemak Bebas (ALB)	K	2,0559	2,86	0,843	
	MK	2,2646	4,48	0,779	
	MK1	3,0409	4,23	0,847	
	MK2	1,3804	1,41	0,792	
Beta karoten	MK3	3,4995	4,96	0,898	
	K	18,2810	6,84	0,901	
	MK	0,0001	-16,87	0,826	
	MK1	3,6728	4,34	0,791	
	MK2	3,2659	3,19	0,734	
Beta karoten	MK3	1,4655	2,90	0,748	
	Adsorbat	Jenis Adsorben	Langmuir		R^2
			K_L (L/mg)	Q_m (mg/gr)	
	Asam Lemak Bebas (ALB)	K	-1,028	-0,294	0,643
		MK	-1,151	-0,109	0,617
MK1		-1,165	-0,154	0,745	
MK2		-0,504	-1,538	0,242	
Beta karoten	MK3	-1,203	-0,113	0,771	
	K	-1,443	-0,082	0,824	
	MK	-1,588	0,003	0,629	
	MK1	-1,278	-0,118	0,623	
	MK2	-1,188	-0,252	0,561	
Beta karoten	MK3	-1,079	-0,180	0,509	

Tabel 11 diatas menunjukkan bahwa semua adsorpsi yang berlangsung mempunyai nilai korelasi (R^2) yang

cukup tinggi untuk persamaan Freundlich. Menentukan apakah data hasil percobaan mengikuti model kesetimbangan Langmuir atau Freundlich, maka dapat ditentukan dari nilai koefisien relasi (R^2). Jika pada plot data kurva linear nilai R^2 mendekati 1, maka data percobaan mengikuti model kesetimbangan tersebut. Isoterm Freundlich berarti permukaan pori dari setiap jenis adsorben berbeda-beda (heterogen). Hal ini sesuai dengan data analisis BJH adsorpsi dan desorpsi pada Gambar 7 dan 8. Selain itu berlaku adsorpsi terjadi secara berlapis (multilayer). Isotherm adsorpsi Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi secara fisik artinya penyerapan lebih banyak terjadi pada permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisik adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan yang lain, dan pada permukaan yang ditinggalkan dapat digantikan oleh adsorbat yang lainnya. Adsorpsi fisik ini terjadi karena adanya ikatan Van Der Waals yaitu gaya tarik menarik yang lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben.

Nilai K_f pada Tabel 11 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi relatif adsorben (mg/g) paling besar untuk adsorbat asam lemak bebas terdapat pada jenis adsorben MK3. Sedangkan untuk adsorbat betakaroten kapasitas adsorpsi paling baik terdapat pada jenis adsorben K. Nilai 1/n yang menunjukkan intensitas proses adsorpsi paling baik untuk adsorbat asam lemak bebas pada jenis adsorbat MK3. Sedangkan untuk adsorbat betakaroten kapasitas adsorpsi paling baik terdapat pada jenis adsorben K.

7. Kinetika Adsorpsi

Pemodelan kinetika tidak hanya memungkinkan estimasi laju penjerapan tetapi juga mengarah pada mekanisme karakteristik reaksi yang sesuai. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan kinetika adsorpsi yaitu, orde pseudo orde satu, dan pseudo orde dua untuk menyelidiki dinamika adsorpsi asam lemak bebas (ALB) dan beta karoten pada adsorben. Nilai R^2 dan persamaan kinetika untuk setiap model kinetika pada Adsorpsi asam lemak bebas (ALB) dan Beta karoten dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai R^2 dan persamaan kinetika untuk Pseudo Orde 1 dan Pseudo Orde 2 pada Adsorpsi asam lemak bebas (ALB) dan Beta karoten

Adsorb at	Jenis Adsorb en	Qexp (gr/L)	Pseudo Orde 1		
			Qe ₁ (gr/L)	k ₁ (min ⁻¹)	R ²
Asam Lemak Bebas (ALB)	K	0,580	0,00274	-0,016	0,150
	MK	0,150	0,00023	-0,023	0,143
	MK1	0,520	0,00249	-0,016	0,148
	MK2	0,650	0,00310	-0,016	0,145
	MK3	0,390	0,00134	-0,014	0,108
Beta karoten	K	1,000	0,00003	0,051	0,568
	MK	0,600	0,00001	0,060	0,565
	MK1	0,880	0,00002	0,053	0,568
	MK2	1,180	0,00002	0,053	0,552
	MK3	0,860	0,00001	0,058	0,566
Adsorb at	Jenis Adsorb en	Qexp (gr/L)	Pseudo Orde 2		
			Qe ₂ (gr/L)	Qe ₂ (gr/L)	Qe ₂ (gr/L)
Asam Lemak Bebas (ALB)	K	0,580	0,017	0,017	0,017
	MK	0,150	0,005	0,005	0,005
	MK1	0,520	0,016	0,016	0,016
	MK2	0,650	0,020	0,020	0,020
	MK3	0,390	0,008	0,008	0,008
Beta karoten	K	1,000	0,011	0,011	0,011
	MK	0,600	0,006	0,006	0,006
	MK1	0,880	0,010	0,010	0,010
	MK2	1,180	0,012	0,012	0,012
	MK3	0,860	0,008	0,008	0,008

Penentuan model kinetika adsorpsi yang sesuai dapat ditinjau dari nilai R^2 yang mendekati nilai 1 dari pada persamaan kinetika adsorpsi. Dari tabel 12 dapat dilihat bahwa persamaan kinetika dengan nilai R^2 mendekati 1 adalah pada persamaan kinetika Pseudo orde 2 untuk adsorben jenis K, MK, MK1, MK2 dan MK3. Hal ini menunjukkan bahwa model kinetika yang sesuai untuk proses adsorpsi asam lemak bebas (ALB) dan beta karoten menggunakan jenis adsorben K, MK, MK1, MK2 dan MK3 adalah model kinetika reaksi Pseudo orde 2. Model kinetika reaksi pseudo orde 2 berarti laju adsorpsi tergantung dari konsentrasi adsorben dan konsentrasi adsorbat. Dengan meningkatkan konsentrasi awal adsorben atau adsorbat akan mempengaruhi kinetika secara konstan dari proses adsorpsi. Selain itu, sisi aktif adsorben berperan dalam proses kinetika adsorpsi. Berdasarkan Tabel 12, laju adsorpsi untuk adsorbat asam lemak

jenuh terjadi paling cepat pada jenis adsorben MK, sedangkan laju adsorpsi untuk adsorbat betakaroten terjadi pada jenis adsorben MK juga. Hal ini terlihat dari nilai k untuk yang diperoleh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka, dapat disimpulkan bahwa karakteristik adsorben dari metakaolin teraktivasi K_2CO_3 yaitu memiliki struktur sillimanite dan kinite yang menyerupai zeolit, dengan komposisi Si/Al = 1, dengan tipe isoterm adsorpsi gas nitrogen H4 histerisis, distribusi pori heterogen yang didominasi pada 13-15 nm (mesopori), dan memiliki luas permukaan sebesar $28,74 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, serta volume pori sebesar $8,018 \times 10^{-2} \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$. Jenis adsorben metakaolin teraktivasi K_2CO_3 1 M terbukti paling baik untuk mengadsorpsi asam lemak bebas sebesar 2,5 % dan beta karoten sebesar 39,6 % pada CPO dengan kondisi waktu kontak dan massa adsorben optimum adsorpsi yang sama yaitu 60 menit dan massa adsorben 0,4 gram/10 mL CPO. Selektivitas adsorpsi adsorben lebih banyak menyerap beta karoten dibandingkan asam lemak jenuh pada CPO. Rasio adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten paling baik terdapat pada jenis adsorben metakaolin teraktivasi K_2CO_3 1 M dengan nilai 2:13 dalam mol/mol. Isoterm adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten memiliki tipe yang sama yaitu isoterm Freundlich. Kinetika adsorpsi asam lemak bebas dan beta karoten memiliki model yang sama yaitu Pseudo orde 2 untuk setiap jenis adsorben.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Terpadu Universitas Muhammadiyah Pontianak dan Laboratorium Kimia Dasar Universitas Tanjungpura sebagai tempat pelaksanaan penelitian. Laboratorium Kimia Dasar Institut Teknologi Bandung (ITB), Laboratorium terpadu Universitas Negeri Padang dan Laboratorium Univeritas Islam Indonesia (UII) sebagai tempat analisis sampel penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] GAPKI, "Refleksi Industri Kelapa Sawit 2017 dan Prospek 2018," 30 Januari 2018. [Online]. Available: <https://gapki.id/news/4140/re>

- fleksi-industri-kelapa-sawit-2017-dan-prospek-2018. [Accessed 3 Maret 2018].
- [2] A. Prasetyo, S. Marwanti and N. Darsono, "Keunggulan Komparatif dan Kinerja Ekspor Minyak Sawit Mentah Indonesia di Pasar International," *Jurnal Agro Ekonomi*, vol. 35, no. 2, pp. 89-103, 2018. DOI: 10.21082/jae.v35n2.2017.89-103.
- [3] M. Hoffmann, A. Castaneda Vera, M. v. Wijk, K. Giller, T. Oberthür, C. Donough and A. Whitbread, "Simulating potential growth and yield of oil palm (*Elaeis guineensis*) with PALMSIM: Model description, evaluation and application," *Agricultural Systems*, vol. 131, pp. 1-10, 2014. DOI:10.1016/j.agsy.2014.07.006
- [4] R. Moreno-Peñaranda, A. Gasparatos, A. Suwa, A. H. Pandyaswargo and J. A. P. d. Oliveira, "Sustainable production and consumption of palm oil in Indonesia: What can stakeholder perceptions offer to the debate?," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 4, pp. 16-35, 2015. DOI:10.1016/j.spc.2015.10.002.
- [5] Sujadi, H. A. Hasibuan, H. Y. Rahmadi and A. R. Purba, "Komposisi Asam Lemak Dan Bilangan Iod Minyak Dari Sembilan Varietas Kelapa Sawit DxP Komersial di PPKS," *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, vol. 24, pp. 1-11, 2016. DOI: 10.22302/iopri.jur.jpks.v24i1.1.
- [6] V. M. Lieb, M. R. Kerfers, A. Kronmüller, P. Esquivel, A. Alvarado, V. M. Jiménez, H.-G. Schmarr, R. Carle, R. M. Schweiggert and C. B. Steingass, "Characterization of Mesocarp and Kernel Lipids from *Elaeis guineensis* Jacq., *Elaeis oleifera* [Kunth] Cortés, and Their Interspecific Hybrids," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 65, no. 18, pp. 3617-3626, 2017. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b00604.
- [7] H. A. Siregar, H. Y. Rahmadi, S. Wening and E. Suprianto, "Komposisi Asam Lemak Dan Karoten Kelapa Sawit *Elaeis Oleifera*, Interspesifik Hibrida, dan Pseudo-Backcross Pertama Di Sumatra Utara, Indonesia," *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, vol. 26, pp. 91-101, 2018. DOI: 10.22302/iopri.jur.jpks.v26i2.44.
- [8] T. Maimun, N. Arahman, F. A. Hasibuan and P. Rahayu, "Penghambatan Peningkatan Kadar Asam Lemak Bebas (Free Fatty Acid) pada Buah Kelapa Sawit dengan Menggunakan Asap Cair," *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, vol. 9, no. 2, pp. 44-49, 2017. DOI: 10.17969/jtipi.v9i2.8469.
- [9] H. A. Hasibuan, "Deterioration Of Bleachability Index Pada Crude Palm Oil: Bahan Review Dan Usulan Untuk SNI 01-2901-2006," *Jurnal Standardisasi*, vol. 18, no. 1, pp. 24-33, 2018. DOI: 10.31153/js.v18i1.694.
- [10] U. H. Hasyim, I. Kurniaty, H. Mahmudah and M. Hermanti, "Pengaruh Waktu Adsorpsi Asam Lemak Bebas Dalam Minyak Kelapa Sawit Mentah Pada Pembuatan Bioadsorben Limbah Batang Pisang," *Jurnal Konversi*, vol. 8, no. 1, pp. 61-70, 2019. DOI: 10.24853/konversi.8.1.10.
- [11] K. Bariyah, N. Andarwulan and P. Hariyadi, "Pengurangan Kadar Digliserida dan Asam Lemak Bebas dalam Minyak Sawit Kasar Menggunakan Adsorben," *Jurnal AGRITECH*, vol. 37, no. 1, pp. 48-58, 2017. DOI:10.22146/agritech.17009.
- [12] A. Priatni, F. Fauziati and Y. Adingsih, "Ekstraksi Karotenoid Dari Minyak Sawit Mentah (Cpo) Dengan Pelarut Dietil Eter Dan Aceton," *Jurnal Riset Teknologi Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 91-99, 2017. DOI: 10.26578/jrti.v11i2.3014.
- [13] H. A. Hasibuan, L. Afriana and D. Tamba, "Pengaruh Dosis Bleaching Earth Dan Waktu Pemucatan Crude Palm Oil yang Bervariasi Deterioration Of Bleachability Index (Dobi) Terhadap Mutu Produk," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 27, no. 1, pp. 69-75, 2017. DOI: 10.24961/j.tek.ind.pert.2017.27.1.69.
- [14] M. Nasir, P. Ratnasari, D. N. F. Islam and A. Shofiyani, "Pengaruh Waktu High Energy Milling Terhadap Karakteristik Nanokaolin Capkala Asal Kalimantan Barat," *EKSAKTA*, vol. 18, no. 2, pp. 200-209, 2017. DOI: 10.24036/eksakta/vol18-iss02/78.
- [15] S. Mustapha, M. Ndamitso, A. Abdulkareem, J. Tijani, A. Mohammed and D. Shuaib, "Potential Of Using Kaolin As A Natural Adsorbent For

- The Removal Of Pollutants From Tannery Wastewater," *Heliyon*, vol. 5, no. e02923, pp. 1-17, 2019. DOI:10.1155/2018/3805654.
- [16] W. Rahmalia, J.-F. Fabre, T. Usman and Z. Mouloungui, "Adsorption Characteristics of Bixin on Acid- and Alkali-Treated Kaolinite in Aprotic Solvents," *Bioinorganic Chemistry and Applications*, vol. 3, pp. 1-9, 2018. DOI:10.1155/2018/3805654.
- [17] H. Sa'adah, M. Abdassah and A. Y. Chaerunisaa, "Aplikasi Kaolin dalam Farmasi dan Kosmetik," *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia (Pharmaceutical Journal of Indonesia)*, vol. 16, no. 2, pp. 334-346, 2019. DOI: 10.30595/pharmacy.v16i2.5827.
- [18] B. Kwakye-Awuah, B. Sefa-Ntiri, E. Von-Kiti, I. Nkrumah and C. Williams, "Adsorptive Removal of Iron and Manganese from Groundwater Samples in Ghana by Zeolite Y Synthesized from Bauxite and Kaolin," *Water*, vol. 11, no. 9, pp. 1-19, 2019. DOI : 10.3390/w11091912.
- [19] M. Esaifan, L. N. Warr, G. Grathof, T. Meyer, M.-T. Schafmeister, A. Kruth and H. Testrich, "Synthesis of Hydroxy-Sodalite/Cancrinite Zeolites from Calcite-Bearing Kaolin for the Removal of Heavy Metal Ions in Aqueous Media," *Minerals*, vol. 9, no. 8, pp. 1-13, 2019. DOI :10.3390/min9080484.
- [20] L. Heller-Kallai and I. Lapidés, "Thermal Reactions of Kaolinite with Potassium Carbonate," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 71, no. 3, pp. 689-698, 2003. DOI : 10.1023/A:1023345303488.
- [21] T. Beebee and R. A. Griffiths, "Beebee TJC, Griffiths RA. The amphibian decline crisis: a watershed for conservation biology? *Biol Conserv* 125: 271-285," *Biological Conservation*, vol. 125, no. 3, pp. 271-285, 2005. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.04.009.
- [22] C. Belver, M. A. B. Muñoz and M. A. Vicente, "Chemical Activation of a Kaolinite under Acid and Alkaline Conditions," *Chemistry of Materials*, vol. 14, no. 5, pp. 2033-2043, 2002. DOI: 10.1021/cm0111736.
- [23] G.-I. E. Ekosse, "Fourier Transform Infrared Spectrophotometry And X-Ray Powder Diffractometry As Complementary Techniques In Characterizing Clay Size Fraction Of Kaolin," *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 9, no. 2, pp. 43-48, 2005. DOI:10.4314/jasem.v9i2.17289.
- [24] J. Jin, H. Goa, Z. Ren and Z. Chen, "The Flotation of Kyanite and Sillimanite with Sodium Oleate as the Collector," *Minerals*, vol. 6, no. 8, pp. 90-102, 2016. DOI: 10.5897/JCEMS2013.0152.
- [25] N.-A. B. Joy, K. R. Pierre and N. J. Pierre, "Adsorption of Palm Oil Carotene and Free Fatty Acids onto Acid Activated Cameroonian Clays," *Journal of Applied Sciences*, vol. 7, pp. 2462-2467, 2007. DOI: 10.3923/jas.2007.2462.2467.
- [26] S. Mustapha, A. Mohammed, A. Zakari and M. Alhaji, "Performance Evaluation Of Local Clays From Northern Nigeria For The Refining Of Palm Oil," *Journal of Chemical Engineering and Materials Science*, vol. 4, no. 5, pp. 58-66, 2013. DOI:10.5897/JCEMS2013.0152.
- [27] M. A. Anang, D. Dodoo, B.-S. Ntiri, R. Zuggle and G. E. Fynn, "Improving the Quality of Locally Produced Vegetable Oils in Ghana Using Zeolite ZSM-11," *Chemical Science International Journal*, vol. 28, no. 4, pp. 1-13, 2020. DOI:10.9734/CSJI/2019/v28i430150.