

## Pengekstrakan Amonia-Nitrogen dan Ortofosfat daripada Efluen Kilang Sawit dalam Bentuk Struvit

(Extraction of Ammonia-Nitrogen and Orthophosphate in the Form of Struvite from Palm Oil Mill Effluent)

Teow Yeit Haan<sup>ab\*</sup>, Nor Maizatul Aqilah Mohamad Azman<sup>a</sup>, Hal Hamid Pakeer Mohamed<sup>a</sup>, Yuan Xin Teoh<sup>a</sup>,  
Nor Azier Mohd Nor<sup>a</sup> & Maha Mohammad AL-Rajabi<sup>ac</sup>

<sup>a</sup>Department of Chemical and Process Engineering,

<sup>b</sup>Research Centre for Sustainable Process Technology (CESPRO),

Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

<sup>c</sup>Chemical Engineering Department, School of Engineering, The University of Jordan, Amman, Jordan

\*Corresponding author: [yh\\_teow@ukm.edu.my](mailto:yh_teow@ukm.edu.my)

Received 03 July 2020, Received in revised form 28 July 2020

Accepted 15 September 2020, Available online 30 May 2021

### ABSTRACT

Ammonia-nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) and orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) contain in palm oil mill effluent will cause toxicity to aquatic life and polluted water source. However, these substances could be use as fertilizer for plant. Nitrogen and phosphorus are the mandatory nutrient source for the plant growth. This study studied the effect of pH and magnesium weight on the effectiveness of the extraction of ammonia-nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) and orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) from palm oil mill effluent (POME) in the form of struvite ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). The effect of pH on percent removal of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  from POME was studied by manipulating the pH of POME at constant the weight of magnesium chloride ( $\text{MgCl}_2$ ). Meanwhile, the effect of  $\text{MgCl}_2$  on the percentage removal of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  from POME was studied by manipulating the weight of  $\text{MgCl}_2$  at constant pH of POME. The concentrations of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  were determined using spectrophotometers and struvites were characterized using fourier-transform infrared (FTIR). This study showed that pH is an important factor in the extraction of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  ions in the form of struvit. pH 11.5 is the optimum pH to achieve the effective extraction process of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  from POME in the form of struvit. Addition of the  $\text{MgCl}_2$  did not have a significant effect on the extraction process because POME contained sufficient magnesium ions for the extraction process. The highest  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  removal was attained at pH 11.5 with the addition of 0.5 g  $\text{MgCl}_2$ . 93.72%  $\text{NH}_3\text{-N}$  and 86.15%  $\text{PO}_4^{3-}$  were removed from POME in struvit extraction process. The resulting struvit yield was also identified through FTIR analysis by the existence of O-H bond, N-H bond, and P-O bond.

Keywords: Palm oil mill effluent (POME); ammonia-nitrogen; orthophosphate; extraction process; struvit

### ABSTRAK

Amonia-nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) dan ortofosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) yang terkandung dalam efluen kilang sawit (POME) akan mengakibatkan ketoksikan kepada hidupan akuatik dan juga menyebabkan sumber air manusia terjejas. Namun, ia dapat digunakan sebagai baja alternatif untuk tumbuh-tumbuhan sedangkan nitrogen dan fosforus merupakan sumber nutrien yang utama bagi tumbuhan. Kajian ini mengkaji kesan pH dan kesan berat sumber magnesium ke atas keberkesanan pengekstrakan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  daripada POME dalam bentuk struvit ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Kesan pH terhadap peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME dikaji dengan memanipulasikan nilai pH POME dengan menetapkan berat magnesium chloride ( $\text{MgCl}_2$ ). Manakala, kajian kesan berat  $\text{MgCl}_2$  terhadap peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME dikaji dengan memanipulasikan berat  $\text{MgCl}_2$  dengan menetapkan nilai pH POME. Kepekatan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dikenalpastikan dengan menggunakan spektrofotometer dan struvit yang terbentuk dicirikan dengan menggunakan infra-merah transformasi fourier (FTIR). Kajian ini menunjukkan pH merupakan faktor yang penting dalam mempengaruhi proses pengekstrakan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan ion  $\text{PO}_4^{3-}$  dalam bentuk struvit. pH 11.5 merupakan pH optimum untuk mencapai keberkesanan proses pengekstrakan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  daripada POME dalam bentuk struvit yang maxima. Penambahan kuantiti  $\text{MgCl}_2$  tidak membawa kesan yang besar kepada proses pengekstrakan kerana POME telah mengandungi ion magnesium yang mencukupi untuk proses pengekstrakan. Peratusan penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  yang tertinggi tercapai pada pH 11.5 dengan penambahan 0.5

g  $MgCl_2$ , bersamaan dengan 93.72%  $NH_3-N$  dan 86.15%  $PO_4^{3-}$ . Mendakan yang terhasil juga dikenalpasti sebagai struvit melalui analisis FTIR dengan pembuktian kewujudan ikatan O-H, ikatan N-H, dan ikatan P-O.

**Kata Kunci:** Efluen kilang sawit (POME); ammonia-nitrogen; ortofosfat; proses pengekstrakan; struvit

## PENGENALAN

Kelapa sawit atau *Elaeis Guineensis* berasal dari Afrika Selatan dibawa masuk ke Malaysia pada tahun 1911 dan dijadikan tanaman hiasan. Kelapa sawit mula dimajukan sebagai tanaman komersil pada sekitar tahun 1917 (Giacomin 2018). Industri minyak kelapa sawit di Malaysia kini telah berkembang dengan pesat dan menjadikan Malaysia sebagai salah satu pengeluar dan pengeksporth minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Kamyab et al. 2015; Teow et al. 2020). Industri minyak kelapa sawit di Malaysia menyumbang kepada 39% daripada pengeluaran minyak kelapa sawit di dunia dimana pendapatan Malaysia daripada pengeskport minyak kelapa sawit dan produk berasaskan kelapa sawit telahpun mencecah RM 78 bilion pada tahun 2017 (Bernama 2018).

Walaupun perkembangan industri minyak kelapa sawit banyak menyumbang kepada pendapatan negara, pemprosesan minyak kelapa sawit melibatkan penggunaan air yang banyak dan efluen kilang sawit (POME) yang disingkir ke sungai akan membawa kesan yang negatif terhadap alam sekitar (Haan et al. 2020; Ho et al. 2019). Secara amnya, penghasilan satu tan minyak kelapa sawit mentah akan memerlukan 5-7.5 tan air dan lebih daripada 50% air yang diguna dalam pemprosesan minyak kelapa sawit akan terhasil menjadi POME (Rupani et al. 2010).

POME mengandungi kepekatan nitrogen, fosforus, dan nutrien lain yang tinggi (Yap et al. 2020). Di antaranya, nitrogen dan fosforus merupakan dua bahan pencemar yang boleh menyebabkan pencemaran yang teruk kepada ekosistem akuatik kerana kedua-dua bahan pencemar ini merupakan nutrien penting untuk pertumbuhan tumbuhan-tumbuhan akuatik seperti alga (Chong et al. 2019; Kamyab et al. 2018). Nutrien berlebihan yang dilepaskan ke dalam perairan akan mengakibatkan pertumbuhan tumbuhan-tumbuhan akuatik yang pesat dimana oksigen terlarut dalam perairan banyak diguna oleh tumbuhan-tumbuhan akuatik sehingga menyebabkan kekurangan oksigen terlarut untuk haiwan akuatik seperti ikan, mikroba, dan sebagainya (Costa et al. 2018; Huo et al. 2019). Selain itu, amonia-nitrogen ( $NH_3-N$ ) dan ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) yang terkandung dalam POME juga akan mengakibatkan ketoksikan amonia ( $NH_3$ ) kepada hidupan akuatik dan juga menyebabkan sumber air manusia terjejas.

Oleh itu,  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  harus dipisahkan daripada POME untuk mengurangkan pencemaran akuatik (Ho et al. 2017).  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  yang diperolehi daripada POME pula dapat digunakan sebagai baja alternatif untuk tumbuh-tumbuhan sedangkan nitrogen dan fosforus merupakan sumber nutrien yang utama bagi tumbuhan (Zhuang et al.

2020). Obejktif utama kajian ini adalah untuk mengkaji kesan pH dan kesan berat sumber magnesium ke atas keberkesanan proses pengekstrakan  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  daripada POME dalam bentuk struvit ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ). Pembentukan struvit memerlukan penambahan magnesium yang mempunyai nilai komoditi yang tinggi dan struvit yang terbentuk merupakan baja pelepasan yang sangat baik (Shaddel et al. 2020). Di samping itu, jumlah penghasilan struvit atau bersama dengan penyingkiran  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  daripada POME mungkin berbeza dengan pH POME kerana kepekatan ion hidrogen,  $H^+$  dan ion hidroksida,  $OH^-$  yang berdasarkan nilai pH larutan akan menentukan proses pengekstrakan struvit (Bayuseno & Schmahl 2018). Maka, kajian ini adalah penting untuk mengetahui nilai pH dan berat magnesium yang sesuai untuk proses pengekstrakan struvit yang berkesan.

## KAEDAH

### PENGEKSTRAKAN AMONIA-NITROGEN DAN OROTFOSFAT

200 mL POME dituras dengan menggunakan penuras vakum berserta kertas turas. POME yang dituras dibahagi kepada 4 bahagian dan dituang ke dalam 4 buah bikar dengan 50 mL dalam setiap bikar. 0.5 g magnesium klorida ( $MgCl_2$ ) ditimbang dan ditambah ke dalam keempat-empat bikar yang mengandungi 50 mL POME. Kemudiannya, pH POME dalam keempat-empat bikar tersebut ditingkatkan kepada 9.5, 10.5, 11.5, dan 12.5 masing-masing dengan menambah beberapa titik larutan natrium hidroksida ( $NaOH$ ) ke dalam POME. Nilai pH dibaca dengan menggunakan pH meter. Proses ini diulang dengan penambahan 0.10 g, 0.25 g, 0.75 g, dan 1.00 g  $MgCl_2$  ke dalam bikar yang mengandungi 50 mL POME disamping setelah menegenalpasti pH optimum dan menetapkan pH optimum. Campuran POME dikacau dengan menggunakan pengacau magnet selama 30 min dan dituras dengan menggunakan penuras vakum berserta kertas turas. Mendakan yang dikumpul pada kertas turas dicuci dengan air deionisasi sehingga air cucian mencapai pH 7. Kemudiannya, mendakan tersebut dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam.

### PENGUJIAN KEPEKATAN AMONIA-NITROGEN DAN OROTFOSFAT

Kepekatan  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  dalam POME mentah dan POME selepas proses pengekstrakan struvit diuji dengan menggunakan spektrofotometer HACH DR3900 melalui kaedah HACH 8038 dan HACH 8048, masing-masing. Peratus penyingkiran  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  dikira dengan menggunakan persamaan 1 (Bashir et al. 2016; Teow et al. 2017):

$$\text{Peratus penyingkiran} = \left(1 - \frac{C_f}{C_i}\right) \times 100\% \quad (1)$$

dimana  $C_i$  ialah kepekatan awal  $\text{NH}_3\text{-N}$  atau  $\text{PO}_4^{3-}$  dalam POME mentah dan  $C_f$  ialah kepekatan  $\text{NH}_3\text{-N}$  atau  $\text{PO}_4^{3-}$  dalam POME selepas proses pengekstrakan struvit.

#### PENCIRIAN STRUVIT TERHASIL

Mendakan yang dikumpul pada akhir proses pengekstrakan struvit dicirikan dengan menggunakan analisis infra-merah transformasi fourier (FTIR), Nicolet-6700 untuk mengenalpasti kumpulan berfungsi yang wujud pada mendakan tersebut. Semasa analisis FTIR, infra-merah dengan Panjang gelombang antara 500 hingga 4000  $\text{cm}^{-1}$  dipancar ke atas sampel mendakan. Spektra FTIR yang terhasil kemudiannya dicatat dalam computer.

#### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

##### KESAN PH TERHADAP PERATUS PENYINGKIRAN AMONIA-NITROGEN DAN ORTOFOSFAT DARI EFLUEN KILANG SAWIT

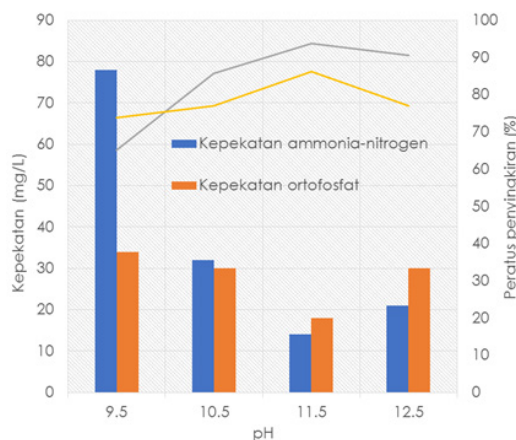
Kajian-kajian sebelum ini menunjukkan julat pH yang sesuai untuk pembentukan struvite adalah 9 (Jaffer et al., 2002; Battistoni et al. 2001). Namun, jarang kajian yang mengkaji pembentukan struvite pada julat pH lebih dari 9. Dalam kajian ini, nilai pH yang dikaji adalah antara 9.5 dan 12.5. Rajah 1 menunjukkan kepekatan akhir dan peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME pada nilai pH yang berbeza. Secara keseluruhannya, kepekatan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  pada POME selepas proses pengekstrakan struvit menurun dengan peningkatan pH dari 9.5 ke 11.5, bersamaan dengan peningkatan peratus penyingkiran dari 65.02% ke 93.72% untuk  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan 73.85% ke 86.15% untuk  $\text{PO}_4^{3-}$ , di mana pH pada 11.5 tercapai peratusan penyingkiran yang tertinggi untuk kedua-dua  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$ . Namun, peningkatan pH yang berterusan ke 12.5

tidak membawa keputusan yang memberangsangkan untuk proses pengekstrakan struvit. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1, kepekatan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  meningkat semula dan peratus penyingkirannya berkurangan pada pH 12.5 dibanding dengan proses pengekstrakan struvit yang berlaku pada pH 11.5. Peratus penyingkiran yang dicapai pada pH 11.5 adalah lebih tinggi dibanding dengan kajian yang dilakukan oleh Li et al. (2012). Dalam kajian Li et al. (2012), kira-kira 68%  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan 25%  $\text{PO}_4^{3-}$  disingkir pada pH 9.2 dalam proses pemendakan struvit.

Nilai pH dalam larutan ditentu berdasarkan kepekatan ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{OH}^-$  yang wujud dalam larutan tersebut. Nilai pH akan berkurang dengan penambahan ion  $\text{H}^+$  (dilakukan dengan penambahan larutan asid) dan bertambah dengan penambahan ion  $\text{OH}^-$  (dilakukan dengan penambahan larutan alkali). Perubahan nilai pH POME dari 9.5 ke 11.5 berlaku dengan penambahan kepekatan ion  $\text{OH}^-$ . Hal ini menjadikan kepekatan ion  $\text{H}^+$  dalam POME kurang dibanding dengan kepekatan ion  $\text{OH}^-$ . Nilai pH yang tinggi dengan peningkatan kepekatan ion  $\text{H}^+$  dalam POME akan mendorong kepada pengekstrakan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$ , sejerusnya mengalakkan pemendakan struvit (Huang et al. 2015; Kim et al. 2017). Namun, apabila nilai pH POME melebihi 11.5, kepekatan ion  $\text{H}^+$  dalam POME yang terlalu tinggi akan menukarkan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) kepada  $\text{NH}_3$ . Di samping itu, pada nilai pH 11.5 juga, ion magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) turut akan bertindak balas dengan ion  $\text{PO}_4^{3-}$  dan bertukar menjadi magnesium fosfat,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  and magnesium hidroksida,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (Huang et al. 2015). Oleh sebab itu, pemendakan struvit akan berkurangan dengan proses pengekstrakan struvit berlangsung pada pH melebihi 11.5.

##### KESAN BERAT MAGNESIUM KLORIDA TERHADAP PERATUS PENYINGKIRAN AMONIA-NITROGEN DAN ORTOFOSFAT DARI EFLUEN KILANG SAWIT

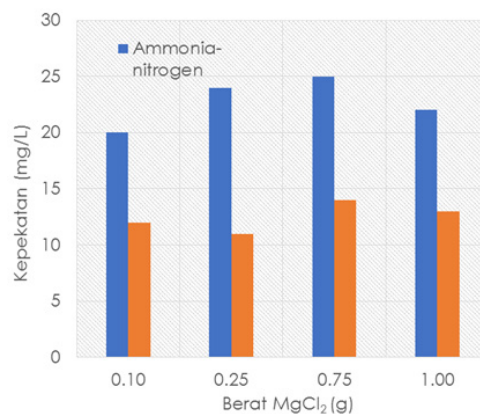
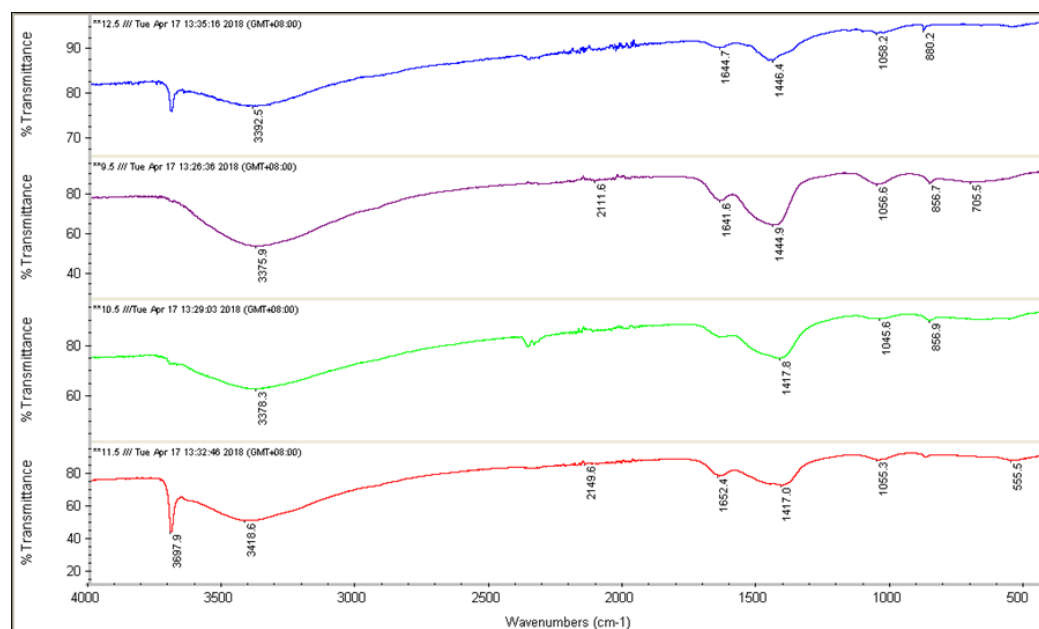
Rajah 2 menunjukkan kepekatan akhir  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME pada berat  $\text{MgCl}_2$  yang berbeza, manakala Jadual 1 merumuskan peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME dengan penggunaan julat berat  $\text{MgCl}_2$  antara 0.1 g



RAJAH 1. Kepekatan akhir dan peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME pada nilai pH yang berbeza (berat  $\text{MgCl}_2$ : 0.5 g)

JADUAL 1. Peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME dengan penggunaan berat  $\text{MgCl}_2$  yang berbeza (nilai pH: 11.5)

Berat $\text{MgCl}_2$ (g)	Peratus penyingkiran (%)	
	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4^{3-}$
0.10	90.57	88.12
0.25	88.68	89.11
0.75	88.21	86.14
1.00	89.62	87.13

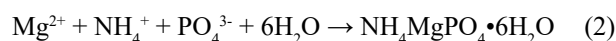
RAJAH 2. Kepekatan akhir  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME pada berat  $\text{MgCl}_2$  yang berbeza (nilai pH: 11.5)RAJAH 3. Spektra FTIR untuk struvit terhasil daripada POME pada nilai pH yang berbeza (berat  $\text{MgCl}_2$ : 0.5 g)

hingga 1.00 g. Julat berat  $\text{MgCl}_2$  yang dikaji adalah lebih luas daripada lingkungan yang terkandung dalam kajian-kajian yang lain (Corre et al. 2007). Sepertimana yang ditunjukkan dalam Rajah 2 dan Jadual 1, peningkatan berat  $\text{MgCl}_2$  yang ditambah ke dalam POME dalam proses pengekstrakan struvit tidak membawa kesan yang jelas. Secara teorinya, peningkatan berat  $\text{MgCl}_2$  yang ditambah ke dalam POME pada proses pengekstrakan struvit seharusnya menunjukkan kekurangan kepekatan akhir  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME sejerus dengan peningkatan peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dari POME. Lebih banyak ion  $\text{Mg}^{2+}$  yang wujud

dalam POME akan lebih giat bertindak balas dengan  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  dan menjadikannya struvit (Kruk et al. 2013). Namun, keputusan yang didapati dalam kajian ini tidak membayangkan hipotesis yang berdasarkan teori. Malahan peratus penyingkiran  $\text{NH}_3\text{-N}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  yang dicapai adalah kurang daripada kajian yang lain (Huang et al. 2015). Hal ini mungkin terjadi dengan kandungan on  $\text{Mg}^{2+}$  yang tinggi dalam POME mentah, di mana kepekatan ion  $\text{Mg}^{2+}$  yang terkandung dalam POME mentah telahpun mencukupi untuk proses pengekstrakan struvit. Proses pengekstrakan struvit dapat tunjukkan dengan menggunakan persamaan



2 (Zhang et al. 2009). Menurut satu laporan yang diterbitkan oleh Malaysia Palm Oil Board (MPOB), kepekatan magnesium dalam POME mentah adalah setinggi 345 mg/L (MPOB 2014), maka peningkatan berat  $MgCl_2$  dari 0.01 g ke 0.10 g tidak membawa kesan yang jelas kepada proses pengekstrakan struvit.



#### PENCIRIAN STRUVIT TERHASIL

Rajah 3 mempamerkan spektra FTIR untuk struvit terhasil daripada POME pada nilai pH yang berbeza. Jarak gelombang yang didapati sekitar 3697.9, 3416.6, 3392.5, 3378.3, dan 3375.9  $cm^{-1}$  adalah berkenaan dengan getaran regangan O-H (Stefov et al. 2013). Manakala jarak gelombang wujud sekitar 2149.6, dan 2111.6  $cm^{-1}$  adalah disebabkan oleh getaran regangan N-H (Chauhan et al. 2008), dan jarak gelombang sekitar 1444.9, dan 1446.4  $cm^{-1}$  adalah merujuk kepada getaran N-H membengkok (Chauhan et al. 2008). Getaran regangan N-H dan getaran N-H membengkok adalah hasil daripada ion  $NH_4^+$  yang terkandung dalam struvit yang diekstrak dari POME (Ye et al. 2011). Seterusnya, jarak gelombang yang didapati sekitar 1058.2, 1056.6, 1055.3, dan 1045.6  $cm^{-1}$  adalah berkenaan dengan getaran regangan P-O (Frost et al. 2005; Stefov et al. 2013). Keputusan spektra FTIR ini membuktikan kewujudan  $PO_4^{3-}$  yang terkandung dalam struvit yang diekstrak dari POME (Chu et al. 2018). Analisis spektra FTIR membuktikan bahawa terdapatnya ikatan O-H, ikatan N-H, dan ikatan P-O pada struvit yang diekstrak daripada POME. Maka, ternyata  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  telah disingkir dari POME melalui proses pengekstrakan dan dijadikan mendakan struvit - hasil proses pengekstrakan.

#### KESIMPULAN

Secara kesimpulannya, peratusan penyingkiran  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  daripada POME menunjukkan peningkatan apabila pH dalam larutan meningkat dari 9.5 ke 11.5. Namun, peratusan penyingkiran  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  daripada POME berkurang dengan peningkatan pH melebihi 11.5. Manakala penambahan kuantiti  $MgCl_2$  tidak menunjukkan perubahan yang besar terhadap jumlah struvit yang terhasil daripada proses pengekstrakan. Peratusan penyingkiran  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  yang tertinggi tercapai pada pH 11.5 dengan penambahan 0.5 g  $MgCl_2$ , bersamaan dengan 93.72%  $NH_3-N$  dan 86.15%  $PO_4^{3-}$ . Hal ini menunjukkan pH merupakan faktor yang penting dalam mempengaruhi proses pengekstrakan  $NH_3-N$  dan ion  $PO_4^{3-}$  dalam bentuk struvit. pH 11.5 merupakan pH optimum untuk mencapai keberkesanan proses pengekstrakan  $NH_3-N$  dan  $PO_4^{3-}$  daripada POME dalam bentuk struvit yang maxima. Penambahan kuantiti  $MgCl_2$  tidak membawa kesan yang besar kepada proses

pengekstrakan kerana POME telah mengandungi ion magnesium yang mencukupi untuk proses pengekstrakan. Mendakan yang terhasil juga dikenalpasti sebagai struvit melalui analisis FTIR dengan pembuktian kewujudan ikatan O-H, ikatan N-H, dan ikatan P-O.

#### PENGHARGAAN

Pengarang ingin mengucapkan terima kasih kepada Dana Modal Insan (MI-2019-017) dan Geran Universiti Penyelidikan (GUP-2017-098) atas sokongan kewangan ke atas kajian ini.

#### PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada

#### RUJUKAN

- Bashir, M.J.K., Han, T.M., Wei, L.J., Aun, N.C. & Amr, S.S.A. 2016. Polishing of treated palm oil mill effluent (POME) from ponding system by electrocoagulation process. *Water Science and Technology* 73(11): 2704–2712.
- Battistoni, P., Angelis, A.D., Pavan, P., Prisciandaro, M. & Cecchi, F. 2001. Phosphorus removal from a real anaerobic supernatant by struvite crystallization. *Water Research* 35(9): 2167-2178.
- Bayuseno, A.P. & Schmahl W.W. 2018. Hydrothermal synthesis of struvite and its phase transition: Impacts of pH, heating and subsequent cooling methods. *Journal of Crystal Growth* 498: 336-345.
- Bernama 2018. Eksport minyak, produk sawit negara cecah RM78 bilion. *Berita Harian*.
- Chauhan, C.K., Joseph, K.C., Parekh, B.B. & Joshi, M.J. 2008. Growth and characterization of struvite crystals. *Indian Journal of Pure and Applied Physics* 46(7): 507–512.
- Chong, W.C., Mohammad, A.W., Mahmoudi, E., Chung, Y.T., Kamarudin, K.F. & Takriff, M.S. 2019. Nanohybrid membrane in algal-membrane photoreactor: Microalgae cultivation and wastewater polishing. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 27: 2799–2806.
- Chu, D., Ye, Z.-L., Chen, S. & Xiong, X. 2018. Comparative study of heavy metal residues in struvite products recovered from swine wastewater using fluidised bed and stirred reactors. *Water Science and Technology* 78(8): 1642–1651.
- Corre, K.S.L., Valsami-Jones, E., Hobbs, P. & Parson, S.A. 2007. Impact of reactor operation on success of struvite precipitation from synthetic liquours. *Environmental Technology* 28(11): 1245-1256.
- Costa, J.A., Souza, J.P., Teixeira, A.P., Nabout, J.C. & Carneiro, F.M. 2018. Eutrophication in aquatic ecosystems: A scientometric study. *Acta Limnologica Brasiliensia* 30, 1-11.
- Frost, R., Weier, M., Martens, W., Henry, D. & Mills, S. 2005. Raman spectroscopy of newberyite, hannayite and struvite. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular* 62(1–3): 181-188.

- Giacomin, V. 2018. The transformation of the global palm oil cluster: Dynamics of cluster competition between Africa and Southeast Asia (c.1900–1970). *Journal of Global History* 13(3): 374–398.
- Haan, Y., Norashiqin, S. & Chun, K. 2020. Sustainable approach to the synthesis of cellulose membrane from oil palm empty fruit bunch for dye wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering* 34(2020): 1–9.
- Ho, K.C., Teow, Y.H., Ang, W.L. & Mohammad, A.W. 2017. Novel GO/OMWCNTs mixed-matrix membrane with enhanced antifouling property for palm oil mill effluent treatment. *Separation and Purification Technology* 177: 337–349.
- Ho, K.C., Teow, Y.H. & Mohammad, A.W. 2019. Optimization of nanocomposite conductive membrane formulation and operating parameters for electrically-enhanced palm oil mill effluent filtration using response surface methodology. *Process Safety and Environmental Protection* 126: 297–308.
- Huang, H., Xiao, D., Liu, J., Hou, L. & Ding, L. 2015. Recovery and removal of nutrients from swine wastewater by using a novel integrated reactor for struvite decomposition and recycling. *Scientific Reports* 5: 1–13.
- Huo, S., He, Z., Ma, C., Zhang, H., Xi, B., Zhang J., Li, X., Wu, F. & Liu, H. 2019. Spatio-temporal impacts of meteorological and geographic factors on the availability of nitrogen and phosphorus to algae in Chinese lakes. *Journal of Hydrology* 572, 380–387.
- Jaffer, Y., Clark, T. A., Pearce, P. & Parsons, S.A. 2002. Potential phosphorus recovery by struvite formation. *Water Research* 36(7): 1834–1842.
- Kamyab, H., Chelliapan, S., Din, M. F.M., Rezanian, S., Khademi, T. & Kumar, A. 2018. Palm oil mill effluent as an environmental pollutant. *Palm Oil*. IntechOpen.
- Kamyab, H., Din, M.F.M., Keyvanfar, A., AbdMajid, M.Z., Talaiekhazani, A., Shafaghat, A., Lee, C.T., et al. 2015. Efficiency of microalgae chlamydomonas on the removal of pollutants from palm oil mill effluent (POME). *Energy Procedia* 75: 2400–2408.
- Kim, D., Min, K.J., Lee, K., Yu, M.S. & Park, K.Y. 2017. Effects of pH, molar ratios and pre-treatment on phosphorus recovery through struvite crystallization from effluent of anaerobically digested swine wastewater. *Environmental Engineering Research* 22(1): 12–18.
- Kruk, D., Elektorowicz, M. & Oleszkiewicz, J. 2013. Struvite precipitation and phosphorus removal using magnesium sacrificial anode. *Chemosphere* 101.
- Li, Z., Ren, X. Zuo, J., Liu, Y., Duan, E., Yang, J., Chen, P. & Wang, Y. 2012. Struvite precipitation for ammonia nitrogen removal in 7-aminocephalosporanic acid wastewater. *Molecules* 17(2): 2126–2139.
- MPOB. 2014. Oil palm & the environment. <http://www.mpob.gov.my/palm-info/environment/520-achievements#ByProducts>
- Rupani, F.P., Singh, R., Ibrahim, M.H. & Esa, N. 2010. Review of current palm oil mill effluent (POME) treatment methods: vermicomposting as a sustainable practice. *World Applied Sciences Journal* 11(1): 70–81.
- Shaddel, S., Grini, T., Andreassen, J.P., Osterhus, S.W. & Ucar S. 2020. Crystallization kinetics and growth of struvite crystals by seawater versus magnesium chloride as magnesium source: Towards enhancing sustainability and economics of struvite crystallization. *Chemosphere* 256, 126968.
- Stefov, V., Abdija, Z., Najdoski, M., Koleva, V., V.M.Petruševski, Runčevski, T. & Dinnebie, R.E. 2013. Infrared and raman spectra of magnesium ammonium phosphate hexahydrate (struvite) and its isomorphous analogues. IX: spectra of protiated and partially deuterated cubic magnesium caesium phosphate hexahydrate. *Vibrational Spectroscopy* 68: 122–128.
- Teow, Y.H., Ghani, M.S.H., Hamdan, W.N. A.W. M., Rosnan, N.A., Mazuki, N.I.M. & Ho, K.C. 2017. Application of membrane technology towards the reusability of lake water. *Jurnal Kejuruteraan* 29(2017): 131–137.
- Teow, Y.H., Tajudin, S. 'Aisyah, Ho, K.C. & Mohammad, A.W. 2020. Synthesis and characterization of graphene shell composite from oil palm frond juice for the treatment of dye-containing wastewater. *Journal of Water Process Engineering* 35(2020).
- Yap C.C., Chan, Y.J., Loh, S.K., Supramaniam, C.V., Soh, A.C., Chong, M.F., Chew, C.L. & Lim, L.K. 2020. Comparison of different industrial scale palm oil mill effluent anaerobic systems in degradation of organic contaminants and kinetic performance. *Journal of Cleaner Production* 262: 121361.
- Ye, Z.-L., Chen, S.-H., Lu, M., Shi, J.-W., Lin, L.-F. & Wang, S.-M. 2011. Recovering phosphorus as struvite from the digested swine wastewater with bittern as a magnesium source. *Water Science and Technology* 64(2): 334–340.
- Zhang, T., Ding, L. & Ren, H. 2009. Pretreatment of ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation. *Journal of Hazardous Materials* 166: 911–915.
- Zhuang, M., Zhang, J., Kong, Z., Fleming, R.M., Zhang, C. & Zhang, Z. 2020. Potential environmental benefits of substituting nitrogen and phosphorus nitrogen and phosphorus fertilizer with usable crop straw in China during 2000–2017. *Journal of Cleaner Production* 267: 122125.