

PERAWATAN AIR SISA KILANG KELAPA SAWIT SECARA ELEKTROKIMIA

(Palm Oil Factory Wastewater Treatment Using Electrochemical Technique)

Nor Ain Mohd Aluwi, M.S Md Jamil, Rahimi M. Yusop, Bakri Din, Firdaus Ismail,
Mohamed Rozali Othman*

*Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

**Corresponding author: rozali@ukm.my*

Abstrak

Kajian ini dilakukan untuk merawat air buangan yang diambil dari sumber sisa air buangan kilang kelapa sawit secara elektrokimia menggunakan besi tahan karat sebagai elektrod dalam 0.1 M NaCl. Sampel yang dielektrolisis dianalisis menggunakan UV-Vis dan penentuan nilai COD. Disamping sisa cecair, sisa pepejal yang diperolehi turut dianalisis menggunakan FTIR dan penganalisa CHNS. Hasil kajian mendapati warna air buangan tersebut dapat dikurangkan sehingga 50% dan paras COD dikurangkan sehingga 80% untuk tempoh elektrolisis selama 3 jam dan dikenakan keupayaan setinggi 10 V.

Kata kunci: Rawatan air buangan, elektrolisis

Abstract

A study was carried out to determine the suitability of palm oil factory wastewater treatment using electrochemical technique with stainless steel as both working and counter electrode in 0.1 M NaCl. Treated liquid samples were later analysed using UV-Vis and COD determination. While solid samples formed during the electrolysis process were analysed using FTIR and CHNS analyser. Results obtained showed that electrochemical technique with the above condition able to reduce color and COD level of the wastewater up to 50% and 80% respectively after 3 h electrolysis time with 10 V applied voltage.

Keywords: Wastewater treatment, electrolysis

Introduction

Minyak kelapa sawit adalah satu daripada minyak sayuran yang penting di pasaran dunia [1]. Malaysia adalah antara pengeluar dan pengekspor terbesar minyak kelapa sawit dunia, merangkumi 11% pengeluar minyak dan lemak dunia dan 27% pasaran eksport [2]. Pokok kelapa sawit mengeluarkan dua jenis minyak, iaitu minyak sawit mentah dan minyak isirung kelapa sawit mentah [2]. Namun, tidak terkecuali industri ini juga sentiasa mengeluarkan air buangan ke sistem saliran dalam proses untuk mendapatkan minyak dari buahnya.

Air buangan kilang kelapa sawit mengandungi komponen yang tidak larut air seperti buah kelapa sawit dan bahan termendak seperti gentian kelapa sawit dan minyak. Disamping itu, air buangan ini juga mengandungi gas metana, sulfat, gas nitrogen, halogen dan pepejal ion organik atau tak organik yang melebihi paras ambangnya [1]. Kandungan bahan organik, terutamanya lipid, karbohidrat, minyak & gris juga tinggi. Kehadiran minyak dan gris menyebabkan air sisa menjadi asidik dan menjadi bahan pencemar kerana ianya sukar diuraikan. Minyak adalah masalah utama dalam rawatan biologi sisa kelapa sawit [3].

Ciri-ciri fizikal air buangan sisa ini ialah panas dan berasid sekitar pH 4 dan 5. Air sisa ini berwarna perang yang likat dan mempunyai mendakan. Niali pH sisa akan bertukar kepada alkali sejurus biodegradasi mengambil alih [4]. Secara keseluruhan, air sisa kelapa sawit mengandungi 40–500 mgL⁻¹ jumlah pepejal, 4,000 mgL⁻¹ minyak & gris, 50,000 mgL⁻¹ COD dan 2,5000 mgL⁻¹ BOD [5 – 8]. Tidak kurang juga bahan-bahan mineral yang wujud seperti

fosforus, kalium, magnesium dan kalsium yang terdapat dalam air sisa dengan setiap satunya berkepekatan 18, 2270, 615 dan 439 mgL⁻¹. Air buangan dari kilang kelapa sawit ini memberi kesan buruk kepada alam sekitar termasuklah kepada tanah, air dan hidupan akuatik. Walaupun ianya boleh dibiodigredasi kerana kehadiran sisa-sisa minyak yang masih wujud dalam air tersebut, namun air buangan ini perlu dirawat terlebih dahulu kerana keadaannya yang berasid dan mempunyai nilai BOD yang tinggi.

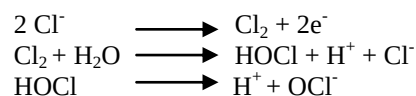
Sistem rawatan yang digunakan sekarang untuk merawat air buangan ini adalah melalui sistem penghadaman anaerobik, proses aerobik lanjutan, sistem perkolaman, sistem bioreaktor dan sistem pengkompos [9]. Dalam sistem penghadaman anaerobik, efluen akan dibiarkan didalam *acidification buffering pond* selama dua ke tiga hari, kemudian dirawat dalam kolam anaerobik dengan masa tahanan hidrolik 30-80 hari mengikut kilang rawatan [1]. Cecair kemudiannya dirawat dalam kolam fakultatif sebelum dilepaskan.

Proses lanjutan aerobik adalah untuk menurunkan nilai BOD air sisa yang tinggi. Dalam proses ini, jumlah mikro-organisma diperbanyakkan untuk menukarkan bahan pencemar kepada tenaga, karbon dioksida dan air. Mendakan aerobik diuruskan di tangki untuk memastikan penghasilan sisa yang bersih. Kebaikan rawatan ini adalah ianya tidak sensitif kepada perubahan persekitaran, stabil dan memastikan keupayaan biodigredasi mencecah 95% [1]. Masalah sistem pengolahan kolam adalah penyingkiran pepejal yang kurang memuaskan disamping pengeluaran gas metana dan karbon dioksida [6]. Dalam rawatan menggunakan bioreaktor, air sisa dirawat dengan cara yang hampir sama dengan cara lama kecuali ianya menggunakan masa pengekalan yang lebih singkat dengan menggunakan sistem hidrolik. Rawatan ini juga memerlukan ruang yang lebih kecil dan lebih mesra alam.

Kaedah pengkomposan vermi juga adalah antara kaedah yang baik untuk digunakan bagi rawatan air buangan kilang kelapa sawit. *Vermicast* adalah kaya nutrien dan menolong mengitar nutrisi tumbuhan disamping membantu tanah daripada terdegredasi [5]. Rawatan air sisa juga boleh dilakukan menggunakan sistem membran UF [10]. Peningkatan dalam penurunan nilai COD, warna dan kekeruhan juga didapati dengan tekanan transmembran 0.5 bar [10]. Rawatan menggunakan kaedah membran dapat meningkatkan kualiti air sisa dan membran UF memainkan peranan penting dalam mengurangkan bahan pencemar yang hadir dalam air sisa.

Pihak industri akan sentiasa mencari jalan untuk menggunakan kaedah yang paling menjimatkan perniagaan mereka disamping memastikan air sisa terkawal semasa dilepaskan ke persekitaran. Antara kaedah yang selalu digunakan adalah dengan penghadaman sistem anaerobik, lanjutan proses aerobik dan sistem bioreaktor. Antara kaedah lain adalah dengan menggunakan teknologi membran dan proses elektrokimia, yang menggunakan teknik pengoksidaan.

Dalam kajian ini, proses elektrokimia digunakan. Semasa proses elektrokimia dijalankan, proses pengoksidaan dan penurunan akan berlaku pada anod dan katod [11]. Proses pengoksidaan adalah proses dimana suatu spesies itu akan kehilangan elektron bagi mencapai keadaan pengoksidaan yang lebih tinggi, manakala proses penurunan pula adalah proses dimana suatu spesies mengalami pertambahan elektron bagi mencapai keadaan pengoksidaan yang lebih rendah [12]. Penghasilan bahan pengoksida iaitu daripada NaCl yang digunakan sebagai elektrolit penyokong dihasilkan dalam larutan pual secara *in-situ* melalui tindak balas [13]:



Sisa semasa elektrolisis dipisahkan oleh tiga lapisan, iaitu lapisan paling atas adalah buih, pepejal seni dan minyak [3]. Lapisan tengah adalah cecair yang mengandungi pepejal terlarut dan minyak, manakala lapisan terbawah adalah *flocks*.

Dalam kajian ini, proses pengoksidaan yang berlaku mampu menukar dan memutuskan rantai-rantai molekul yang boleh membahayakan persekitaran kepada molekul yang lebih kecil dan lebih mudah terbiodegredasi. Terdapat dua proses yang berlaku semasa elektrolisis dijalankan iaitu proses pengoksidaan anodik terus, dimana bahan pencemar akan melekat pada elektrod dan dimusnahkan dengan tindak balas pengaliran anodik [13]. Proses yang keduanya

adalah proses pengoksidaan tidak langsung, yang menggunakan bahan pengoksida kuat seperti hiperklorit yang dihasilkan melalui proses elektrokimia tersebut.

Bahan dan Kaedah

Bahan kimia

Semua reagen yang digunakan adalah bergred Analar (R & M Chemicals) dan digunakan tanpa penulinan lanjut.

Sampel, persampelan dan pra-pengolahan sampel

Air sisa kilang kelapa sawit diperolehi dari kilang kelapa sawit di FELDA Kemahang, Tanah Merah, Kelantan. Sampel ini diambil dari saluran paip yang mengalirkan air buangan dari kilang ke kolam rawatan. Sampel kemudiannya disejukkan ke suhu bilik dan dilindungi dari cahaya matahari dengan meletakkannya di tempat gelap. Sampel yang diambil dibahagikan kepada dua iaitu sampel mentah yang tidak dituras dan yang dituras terlebih dahulu menggunakan kertas turas gentian kaca berliang 0.45 μm .

Proses elektrolisis dan pencirian hasil elektrolisis

Proses elektrolisis ke atas 25 mL sampel air buangan dilakukan menggunakan besi tahan karat sebagai elektrod kerja dan elektrod lawan dengan keupayaan setinggi 10 V selama tiga jam digunakan dalam 0.1 M NaCl sebagai elektrolit penyokong dalam bikar 100 mL. Keupayan dibekalkan menggunakan pembekal kuasa DC (TTi PSU Bench CPX 400). Pengacauan dilakukan sepanjang tempoh elektrolisis. Bagi air buangan yang dituras, analisis menggunakan UV-Vis akan dijalankan sebelum dan selepas elektrolisis, manakala bagi air buangan yang tidak dituras, sampel hanya akan dianalisis selepas rawatan dijalankan.

Untuk menentukan peratus penyahwarnaan dan kepekatan bahan penyerap yang ada, Spektrofotometer UV-Vis digunakan, manakala FTIR digunakan untuk melihat kumpulan berfungsi yang masih tinggal selepas elektrolisis. Nilai COD ditentukan sebelum dan selepas elektrolisis menggunakan kaedah piawai [14].

Spektrometer UV-Vis dua alur yang digunakan untuk menentukan keberkesanan proses rawatan disamping mengkaji penurunan warna air buangan. Pengukuran peratus penyingkiran warna dikira melalui persamaan [11]:

$$\text{Abs}(\%) = [(Abs_{\lambda i} - Abs_{\lambda f}) / Abs_{\lambda i}] \times 100$$

dimana $Abs_{\lambda i}$ dan $Abs_{\lambda f}$ masing-masingnya adalah serapan pada panjang gelombang tertentu sebelum dan selepas rawatan dijalankan

Peratus penyingkiran COD dikira melalui persamaan:

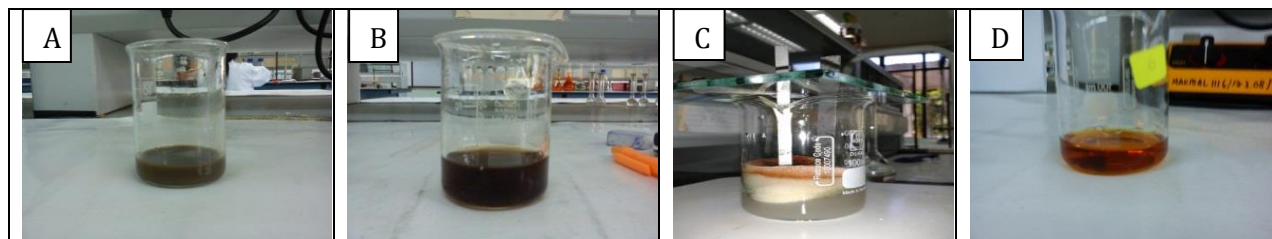
$$\text{COD}(\%) = [(COD_i - COD_f) / COD_i] \times 100$$

dimana COD_i dan COD_f adalah nilai COD sebelum dan selepas rawatan

Hasil dan Perbincangan

Sisa bahan pepejal

Sisa cecair sebelum elektrolisis dituras terlebih dahulu menggunakan kertas turas gentian kaca 0.45 μm untuk mendapatkan sisa pepejal untuk analisis. Daripada pemerhatian didapati pepejal akan terbentuk apabila proses elektrolisis dijalankan ke atas air sisa yang telah dituras atau tidak dituras sebelumnya (Rajah 1). Kedua-dua sisa pepejal yang diperolehi sebelum dan selepas proses elektrolisis ini dibiarkan kering ini dibiarkan kering pada suhu bilik sebelum dianalisis menggunakan penganalisa CHNS, spektroskopi FT-IR dan ujian keterlarutan menggunakan pelarut air dan metanol.



Rajah 1. Bentuk air buangan yang tidak dituras (A), selepas dituras (B), semasa elektrolisis (C) dan selepas elektrolisis (D).

Proses elektroflokulasi dan elektrokoagulasi dijangka terjadi semasa proses elektrolisis berjalan, dimana zarah yang lebih besar saiznya akan terbentuk. Kejadian ini berlaku apabila zarah menjadi kurang stabil dan membentuk zarah baru yang lebih besar. Penyahstabilan ini adalah proses flokulasi sebelum membentuk zarah baru. Proses koagulasi membolehkan pepejal seni bergabung menghasilkan pepejal yang lebih besar akibat proses penyahstabilan [6]. Ini menyebabkan jumlah pepejal terlarut dapat dikurangkan dengan efektif. Proses elektrokoagulasi ini adalah lebih baik berbanding kaedah koagulasi kimia kerana ianya lebih mesra alam [3]. Elektrokoagulasi telah dikaji menggunakan beberapa jenis air buangan yang berbeza dan membuktikan ianya berguna dalam menyingkirkan sisa pepejal terlarut, logam berat dan penyingkirkan bahan organik kompleks [3, 15 – 17].

Analisis keunsuran

Analisis telah dijalankan keatas sisa pepejal yang diperolehi untuk melihat kandungan unsur menggunakan alat penganalisa CHNS. Sebelum rawatan, sisa pepejal menunjukkan nilai peratus karbon yang sangat tinggi, manakala selepas rawatan, nilai peratus karbon menjadi lebih rendah (Jadual 1). Ini menunjukkan walaupun sampel dituras terlebih dahulu sebelum rawatan, pepejal yang terlarut dalam sampel masih ada dan mempunyai nilai karbon yang tinggi. Perkara yang sama terjadi terhadap kandungan nilai peratus nitrogen dan hidrogen. Analisis ini menunjukkan ketidakhadiran sulfur dalam sampel pepejal sisa. Jadual 1 menunjukkan bahawa pepejal yang terhasil semasa proses elektrolisis dijangka mengandungi kandungan unsur C, N dan H yang jauh lebih rendah daripada pepejal yang diperolehi sebelum elektrolisis. Ini menunjukkan bahawa pepejal berkenaan adalah merupakan bahan yang berbeza. Keputusan ini menunjukkan bahawa andaian yang dikatakan bahawa berlakunya proses elektroflokulasi dan elektrokoagulasi sebelum ini adalah tidak tepat, tetapi sebaliknya bahan baru hasil pengoksidaan secara elektrokimia yang terbentuk. Bahan yang pertama mungkin sisa sabun dan tempurung buah kelapa sawit, manakala pepejal yang terbentuk semasa elektrolisis mungkin merupakan sebatian amida yang tidak larut dalam air yang terbentuk daripada sisa minyak atau kandungan asid lemak dalam sampel air buangan. Ini merujuk kepada sampel yang telah dituras terlebih dahulu.

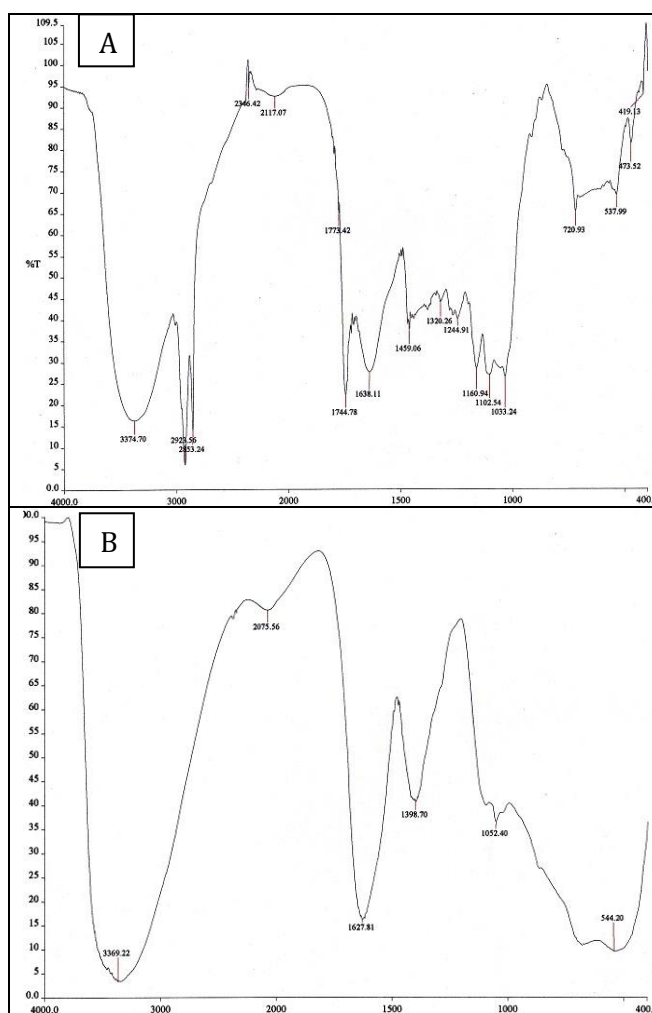
Jadual 1. Keputusan analisis sisa pepejal yang diperolehi sebelum dan selepas elektrolisis

Parameter	Analisis unsur	Tidak dituras		Dituras	
		Sebelum elektrolisis	Selepas elektrolisis	Sebelum elektrolisis	Selepas elektrolisis
Kelarutan dalam air		nd	4 mendakan terhasil	2	4 mendakan terhasil
Kelarutan dalam metanol		nd	4 mendakan terhasil	2	4 mendakan terhasil
Kandungan unsur (%)	C	nd	17.06	48.04	8.82
	N	nd	0.41	1.48	0.27
	H	nd	3.80	7.19	3.68
Berat** (g)		nd	1.355	0.345	0.992

nd- tidak ditentukan; *julat 1-5 : 1- paling tidak larut, 5- larut sepenuhnya

Analisis Spektroskopi FTIR

Secara puratanya, analisis spektroskopi FTIR memberikan puncak pada $3,370.74\text{ cm}^{-1}$ dan $1,630.06\text{ cm}^{-1}$ yang merujuk kepada regangan N-H dan C=O amida. Untuk sisa sebelum rawatan, spektrum menunjukkan kehadiran kumpulan alkana pada nombor gelombang $2,923.56\text{ cm}^{-1}$ dan $2,853.24\text{ cm}^{-1}$ bagi regangan alkana (Rajah 2). Ini menunjukkan bahawa rantaian alkana yang wujud pada awalnya telah dapat diputuskan dan pengoksidaan elektrokimia yang berlaku telah menyebabkan kumpulan berfungsi tertentu telah bertukar kepada kumpulan amida.



Rajah 2. Spektrum FTIR untuk sisa pepejal yang diperolehi sebelum (A) dan selepas elektrolisis (B)

Analisis Keterlarutan dalam Air dan Metanol

Kedua-dua pelarut organik dan tak organik digunakan untuk menguji kelarutan pepejal yang telah diperolehi sebelum dan selepas elektrolisis. Hasil analisis menunjukkan bahawa semuanya larut dalam air dan metanol. Sebelum rawatan, sisa ini hanya larut sedikit dalam pelarut dengan hanya memberikan perubahan warna yang sangat sedikit terhadap kedua-dua pelarut. Manakala bagi sampel pepejal selepas rawatan menunjukkan keterlarutan yang agak tinggi kerana dapat merubah warna pelarut menjadi perang. Namun, setelah beberapa ketika, mendakan terhasil dan warna perang menjadi lebih pudar.

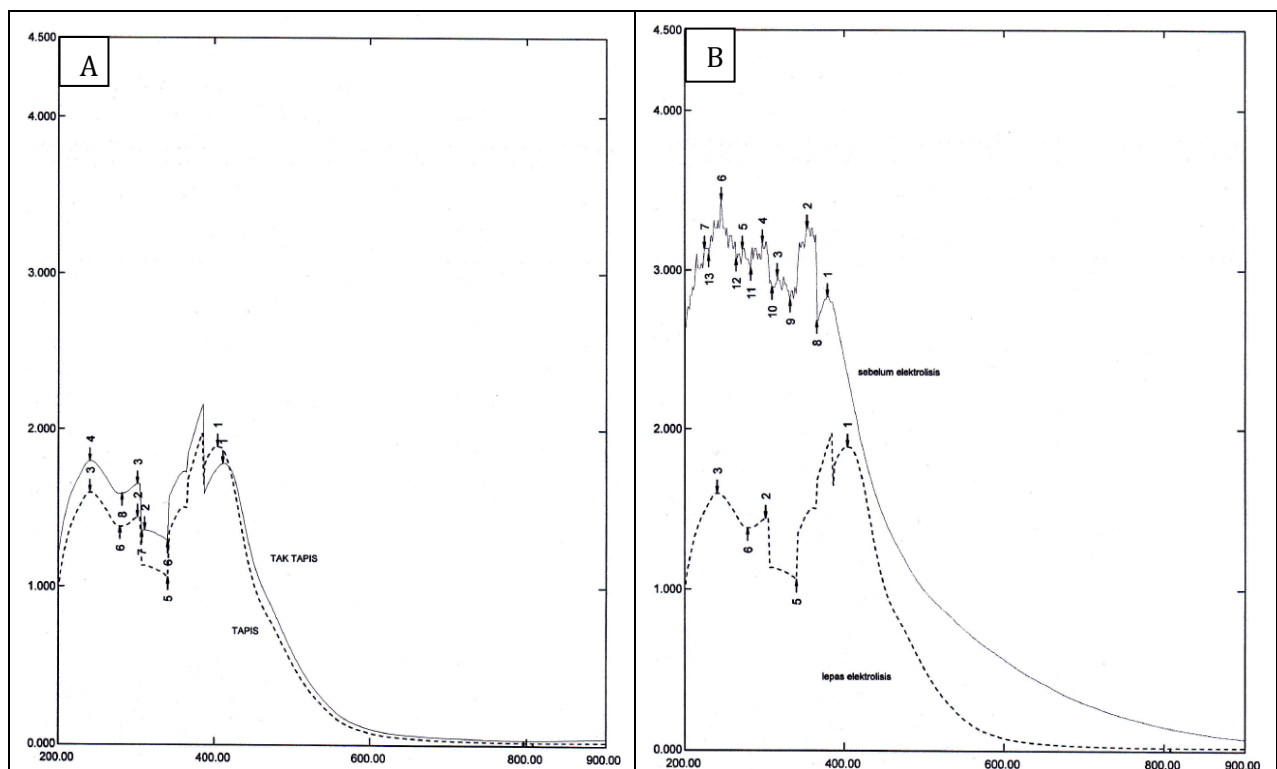
Molekul yang bersifat terkutub akan larut dalam air, manakala pelarut metanol akan melarutkan larutan yang mengandungi bahan-bahan organik. Ujian keterlarutan ini juga membuktikan sisa pepejal mempunyai bahan-bahan yang terkutub dan organik dalam komposisinya.

Sisa cecair

Sisa hasil cecair merujuk kepada analisis terhadap sisa dalam fasa cecair sebelum dan selepas elektrolisis. Untuk mendapatkan sampel cecair, sampel air buangan yang belum dan telah dirawat perlu dituras terlebih dahulu untuk mengasingkan sisa cecair ini daripada mendakan dan bahan pepejal yang terhasil semasa proses elektrolisis. Antara analisis yang digunakan adalah kajian terhadap serapan menggunakan spektroskopi UV-Vis, spektroskopi FTIR dan penentuan COD menggunakan kaedah refluks terbuka. Analisis menggunakan spektroskopi FTIR dijalankan dengan mengeringkan sisa cecair tadi pada suhu bilik sebelum analisis dijalankan.

Analisis spektrum UV-Vis

Warna asal sisa buangan, iaitu perang gelap bertukar kepada perang muda selepas elektrolisis. Bagi spektrum sisa sebelum elektrolisis, larutan menyerap dalam julat panjang gelombang 378 nm sehingga 225 nm. Sebanyak tujuh puncak ditemui. Bagi spektrum selepas elektrolisis, serapan hanya berlaku dalam julat panjang gelombang 404 nm hingga 241nm dan hanya tiga puncak yang wujud. Spektrum bagi sampel yang tidak dituras menunjukkan empat puncak yang menyerap pada julat panjang gelombang 411 nm hingga 241 nm (Rajah 2).



Rajah 3. Spektrum UV-Vis sisa cecair yang dituras dan tidak dituras (A) serta spektrum UV-Vis sisa cecair sebelum dan selepas elektrolisis (B)

Rajah 3(A) menunjukkan perbezaan antara air sisa selepas elektrolisis bagi air buangan yang tidak dituras dan sampel yang dituras terlebih dahulu sebelum dirawat. Serapan sisa tidak banyak berbeza kecuali serapan bagi yang tidak dituras lebih tinggi sedikit daripada lawannya. Manakala Rajah 3(B) menunjukkan perbezaan spektrum bagi sampel sebelum rawatan dijalankan dan selepas rawatan. Spektrum ini menunjukkan dengan jelas bahawa serapan bahan-bahan kromofor dalam larutan telah menurun dengan begitu ketara. Peratus penyahwarnaan sampel yang berlaku adalah seperti yang diringkaskan dalam Jadual 2.

Jadual 2. Peratus penyahwarnaan dan nilai COD air buangan yang dirawat secara elektrokimia

Parameter	Keadaan sampel	Julat panjang gelombang (nm)	Sebelum elektrolisis	Selepas elektrolisis	Peratus penyingkiran (%)
Warna	Tidak dituras	378.00-411.00	nd	1.783	nd
		298.00-302.00	nd	1.653	nd
		241.00-246.00	nd	1.799	nd
	Dituras	378.00-411.00	2.834	1.892	33.24
		298.00-302.00	3.175	1.438	54.71
		241.00-246.00	3.436	1.597	53.52
COD	Tidak dituras		nd	7,660.8	nd
	Dituras		37,632.0	6,643.2	82.35

Analisis COD

Analisis COD telah dijalankan menggunakan kaedah refluks terbuka terhadap sisa sebelum dan selepas elektrolisis untuk melihat perbandingan kandungan bahan organik yang wujud dalam sisa. Air buangan yang belum dan telah dirawat dicairkan dengan air suling dengan nisbah 1:49. Seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2, peratus penyingkiran COD adalah mencapai sehingga 82.35% dengan nilai COD bagi sebelum rawatan adalah 37,632.0 mgL⁻¹ dan sisa selepas rawatan adalah 6,643.3 mg⁻¹, manakala COD bagi sisa selepas elektrolisis yang tidak dituras adalah 7,660.8 mg⁻¹, dimana nilainya tinggi daripada yang dituras. Nilai-nilai COD yang masih tinggi ini menunjukkan masih banyak bahan organik yang wujud walaupun setelah rawatan dijalankan.

Kerajaan tidak menetapkan nilai COD yang perlu dipatuhi untuk membebaskan sisa kelapa sawit ke persekitaran, namun nilai ini masih terlampau tinggi ini dilepaskan.

Kesimpulan

Paras COD dan bahan berwarna dapat dikurangkan selepas elektrolisis masing-masingnya sebanyak 82.3% dan 54.7%, disamping itu juga didapati pepejal terbentuk selepas elektrolisis. Namun memandangkan ini hanya kajian awal tidak dapat dipastikan samada pepejal yang terbentuk itu disebabkan terjadinya proses elektrokoagulasi atau disebabkan pembentukan sebatian yang tidak larut air. Warna air sisa yang terbentuk pada akhir proses elektrolisis adalah mungkin disebabkan oleh warna yang terhasil apabila pepejal yang terbentuk melarut sedikit dalam air. Ujian FTIR yang dijalankan menunjukkan bahawa sebatian yang terbentuk itu merupakan sebatian amida.

Penghargaan

Pembiayaan daripada Universiti Kebangsaan Malaysia melalui geran UKM-AP-2011-21 dan UKM-DLP-2012-024 amat dihargai.

Rujukan

1. Igwe, J.C. and Onyegbado, C.C. (2007), A Review of Palm Oil Mill Effluent (POME) Water Treatment. *Global J. Environ. Res.* 1(2), 54 - 62
2. MPOC. 2011. http://www.mpoc.org.my/The_Oil_Palm_Tree.aspx. [13 Disember 2011].
3. Chantaraporn, P., Junpita, M., Kanita, I. and Boonyarit, N. (2010), Pretreatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation and coagulation *Sci. Asia* 36, 142 – 149

4. Okwute, L.O. and Isu, N.R. (2007), The environmental impact of palm oil mill effluent (pome) on some physico-chemical parameters and total aerobic bioload of soil at a dump site in Anyigba, Kogi State, Nigeria *Afr. J. Agr. Res.* 2(12), 656 – 662
5. Parveen Fatemah Rupani, Rajeev Pratap Singh, M. Hakimi Ibrahim and Norizan Esa. (2010), Review of Current Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Methods: Vermicomposting as a Sustainable Practice *World Appl. Sci. J.* 11(1), 70
6. Ta, Y.W., Abdul Wahab Mohammad, Jamaliah Md. Jahim and Nurina Anuar. (2010), Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes *J. Environ. Manage.* 91, 1467 - 1490
7. Wong, Y.S., Kadir, M.O.A.B. and Teng, T.T. (2009), Biological kinetics evaluation of anaerobic stabilization pond treatment of palm oil mill effluent *Bioresour. Tech.* 100(21), 4969 – 4975
8. Wood, B.J., Pillai, K.R. and Rajaratnam, J.A. (1979), Palm oil mill effluent disposal on land. *Agr. Wastes* 1, 103 - 127
9. APOC. 2003. <http://www.americanpalmoil.com/> [23 November 2011]
10. Munirat Abolore Idris, Mohammed Saedi Jami and Suleyman Aremu Muyibi. (2010), Tertiary treatment of biologically treated palm oil mill effluent (POME) using UF membrane system: effect of MWCO and transmembrane pressure. *Inter. J. Chem. Environ. Eng.* 1(2), 108 - 112
11. Usha, N.M., Rekha, H.B. and Bhavya, J.G. (2011), *2011 Inter. Conf. Environ. Comput. Sci.* 19, 64
12. Ramli Ibrahim, Ilyas Md Isa and Anuar Kassim. (2003), *Kimia Analisis*. Edisi 1. Tanjong Malim: Penerbit UPSI.
13. Rajkumar, D. and Palanivelu, K. 2004. Electrochemical treatment of industrial wastewater. *J. Hazard. Mater.* B 113, 123
14. APHA (1995), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (19^{ed.}), American Public Health Association, Washington, D.C (1995)
15. Abuzaid, N.S., Bukhari, A.A. and Al-Hamouz, Z.M. (1998), Removal of bentonite causing turbidity by Electrocoagulation *J. Environ. Sci. Heal. A* 33(7), 1341 - 1358
16. Bukhari, A. (2008). Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater *Bioresour. Tech.* 99(5), 914