

**PENGGUNAAN TEMPURUNG KELAPA SAWIT
TERUBAHSUAI SEBAGAI BAHAN PENJERAP LOGAM BERAT
DALAM SAMPEL AIRSISA**

Oleh

Prof Madya Fadil Haji Othman
Prof Madya Dr Mohd Razman Salim
Prof Madya Dr Rahmalan Ahmad
Universiti Teknologi Malaysia

Abstract ?

PENGENALAN

Penggunaan bahan buangan atau lebih dari aktiviti pertanian untuk penyediaan bahan penjerap sebagaimana karbon teraktif telah dilaporkan beberapa penyelidik (Fadil Othman, Mohd Razman Salim dan Rahmalan Ahmad, 1994). Contoh penggunaan seumpama tersebut ditunjukkan dalam Jadual 1.

Keputusan kajian mengenai perlakuan tempurung kelapa sawit terubahsui (TEKESAT) menjerap dan menyingkir kadmium (Cd) dan plumbum (Pb) juga telah dilaporkan (Fadil Othman, 1993). Kesimpulan laporan tersebut menunjukkan bahawa TEKESAT yang diubahsui hanya menerusi pengkisan supaya tempurung mentah mempunyai ukuran diameter antara dua dan tiga milimeter dan kemudian dipanaskan dalam relau elektrik pada suhu 420°C selama empat jam, boleh digunakan sebagai bahan penjerap sebagaimana karbon teraktif.

Laporan tersebut juga telah membuktikan proses penyingkiran berlangsung secara penjerapan. Proses penjerapan ini pula adalah sesuai dengan model isoterma Freundlich. Ini bermakna, kejerapan yang disimbolkan sebagai "X/M" berkadar langsung kepekatan logam berat di dalam sampel larutan. Kenyataan tersebut dirumuskan secara matematik sebagai Persamaan 1 (Weber, 1985) berikut:

$$X/M = K_f C_e^{(1/n)} \quad \dots\dots\dots (\text{Pers. 1})$$

dengan X/M ialah kejerapan, iaitu berat logam terjerap (mg) bagi setiap gram penjerap, K_f ialah pemalar Freundlich, C_e ialah kepekatan logam berat yang tinggal dalam larutan, dan n ialah pemalar. Nilai pemalar Freundlich memberi gambaran keupayaan penjerapan. Kesesuaian model Freundlich dibuktikan menerusi ujian kelompok.

Jadual 1: Contoh penggunaan bahan buangan pertanian sebagai bahan penjerap

Penyelidik	Bahan	Bahan kimia	Panasan & tempoh	Saiz	Gunaan
Chan, Goh & Tan, 1980	TEKESA	ZnCl ₂ asid	450°C 2 jam stem, 800°C 1.5 jam	1 mm	metil biru; iodine
Rivera-Utrilla, 1986	Biji buah zaiton	10%, 6 jam H ₂ SO ₄	1123 K 8 & 17 jam	1.6-2.0mm	Pb
Md Azraai & Rahmalan, 1986	tanah gambut	H ₂ SO ₄	100°C	0.6 mm - 1.18 mm	Cd, Pb Cu, Ni Zn
Rivera-Utrilla, 1987	kulit buah badam	HNO ₃ pekat 353 K	1123 K 2 - 48 jam	1.5 mm - 2.0 mm	Co
Asiah, 1988	tanah gambut	ZnCl ₂ HCl pekat	450°C; 3 jam	75 um	Mbiru
Rahmalan, 1988	tanah gambut	kering	100°C	-	Al
Arulanatham, dll, 1989	Tempurung kelapa	H ₂ SO ₄ pekat	140°C 160°C, 24 jam	3 mm	Pb, Cd
Okieimen, dll 1991	kulit kacang tanah	H ₂ SO ₄ 7%, 1.5 jam EDTA	refluks 30 jam	300 um - 425 um	Cd, Pb
Heryanti, 1991	TEKESA	HCl 0.1N 24 jam	950 °C 0.5 jam	1 - 4 mm	Al, Fe Zn
Asiah & Wan Rusli, 1992	TEKESA dan biji getah	asid fosforik 450°C, 3jam	mentah 459, 750 °C	75 um	M-biru
Normah, 1992	TEKESA		450 °C stim 800°C	-	metil
Bhargava & Sheldakar, 1993	Biji Asamjawa	ZnCl ₂ HCl pekat	didih-hazam, 1 jam diaktifkan pada 700°C	253 um 424 um	P

Catitan: TEKESA ialah singkatan tempurung kelapa sawit

Cara ujian tersebut dijalankan (ASTM, 1992) adalah dengan mencampurkan sejumlah tertentu bahan penjerap ke dalam larutan yang tertentu pula kepekatan dan isipadunya. Pencampuran tersebut digoncang dalam jangka masa tertentu sehingga mencapai keseimbangan antara bahan terjerap yang masih tertinggal di dalam larutan dan yang telah terjerap pada permukaan bahan penjerap. Jumlah bahan terjerap boleh diketahui dengan menyukat kepekatan larutan setelah keseimbangan tercapai. Jumlah bahan terjerap berbanding kuantiti bahan penjerap yang ditandakan sebagai "X/M" berkadar terhadap kepekatan keseimbangan bahan yang masih tertinggal di dalam larutan.

Lazimnya bahan penjerap seumpama karbon teraktif, digunakan bagi mengolah air bekalan atau airtsisa pada peringkat lanjutan menerusi kaedah turus atau kaedah camporan serbuk karbon. Huraian penggunaan kaedah tersebut banyak terdapat di buku-buku teks. Penggunaan TEKESAT sebagai bahan penjerap dengan kaedah turus dilangsungkan dengan anggapan-anggapan yang lazim digunapakai dalam amalan operasi loji pengolah air dan air sisa sebagaimana yang banyak terdapat di dalam buku-buku teks.

Pemakaian kaedah turus disandarkan pada hasil ujian turus yang merupakan suatu ujian yang terdiri daripada aliran berterusan sampel air ke dalam suatu turus yang berisi bahan penjerap (ASTM, 1992). Sistem ini boleh juga dikatakan sebagai suatu sistem penuras karbon. Hasil ujian tersebut dapat memberi maklumat yang praktikal mengenai keupayaan bahan penjerap bagi tujuan proses pengolahaan air dan airtsisa.

Eckenfelder (1989) menyatakan bahawa satu rumusan yang telah dibuat oleh Bohart dan Adams boleh digunakan bagi meramal atau mengenalpasti perlakuan sesuatu bahan penjerap yang ingin digunakan sebagai penuras karbon. Rumusan tersebut boleh diubahsuai sehingga menjadi satu persamaan linear yang ringkas sebagaimana ditunjukkan oleh Persamaan 2.

$$T = (N_0HA/C_i)(1/q) - (1/C_iK)\ln(C_i/C_B - 1) \quad \dots\dots\dots(\text{Pers. 2})$$

dengan masing-masing simbol mempunyai maksud berikut:

- T = jangka masa tempoh khidmat (jam)
- N_0 = Keupayaan jerap (kg/m^3)
- H = ketinggian lapisan penuras karbon (m)
- A = luas keratan lapisan penuras (m^2)
- C_i = kepekatan asal larutan influen (mg/L)
- C_B = kepekatan efluen yang dibenarkan (mg/L)
- q = kadar alir larutan di dalam turus (m^3/jam)
- K = pemalar kadar ($\text{m}^3/\text{kg}/\text{jam}$)

Persamaan 2 mempunyai bentuk ringkas yang menyerupai persamaan ($y = mx + a$). Jika kadar alir dipelbagaikan, sementara semua nilai H, A, C_i dan C_B dalam Persamaan 2 diketahui, maka jangka masa tempoh khidmat (T) akan berkadar terus dengan kebalikan kadar alir ($1/q$). Oleh itu, jika T diplotkan lawan ($1/q$), maka satu graf lurus akan diperolehi dan nilai N_0 dan K akan dapat ditentukan.

Beberapa fakta penting boleh diperolehi daripada data ujian turus, antaranya ialah kadar penggunaan bahan penjerap, anggaran kos, kecekapan penjerapan, masa sentuh dan ketebalan lapisan penjerap yang sesuai atau praktikal.

Penggunaan turus TEKESAT bagi penyingkiran plumbum (Pb) akan dibincang dalam rencana ini. Perbincangan terbatas pada dua perkara penting, iaitu :-

- (1) Kekangan rekabentuk turus; dan
- (2) Kos pengendalian turus.

Perbincangan kekangan rekabentuk turus didasarkan pada keputusan pelakuan serta ciri-ciri turus yang telah diperolehi daripada ujian turus. Kos pengendalian yang dibincang pula terhad pada kos penyediaan TEKESAT sahaja. Ia tidak termasuk kos peralatan yang digunakan untuk penyediaannya. Perbincangan juga disandarkan pada kajian kes di tapak pelupusan sampah yang terdapat di negara kita.

KEKANGAN REKABENTUK TURUS TEKESAT

Terdapat beberapa kekangan rekabentuk turus TEKESAT yang digunakan untuk pengolahan sampel air. Dua kekangan utama yang akan dibincang ialah:

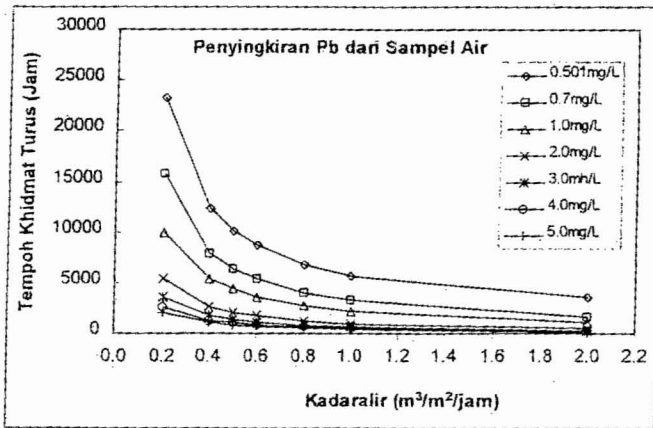
- (a) Kepekatan bahan yang hendak disingkirkan dalam sampel larutan
- (b) Kadar alir sampel larutan.

Kedua-dua kekangan tersebut sangat mempengaruhi tempoh bulus yang juga merupakan tempoh khidmat turus. Ini bererti ia memberi kesan terhadap kos pengendaliannya. Selain itu, pelakuan turus juga merupakan kekangan yang mempengaruhi tempoh bulus. Dengan menggunakan nilai-nilai ciri pelakuan turus yang diperolehi daripada keputusan ujian turus dan Persamaan 2, serta dua kekangan rekabentuk turus, iaitu kadar alir dan kepekatan influen, tempoh khidmat dan kecekapan turus TEKESAT akan juga dapat ditentukan.

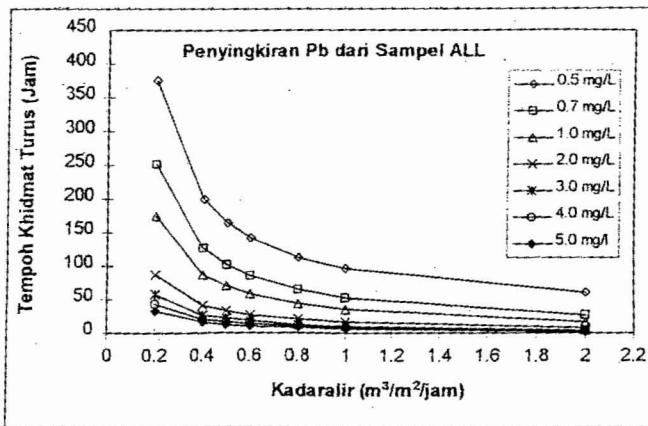
Rajah 1 dan Rajah 2 adalah contoh-contoh hasil pengiraan tersebut yang masing-masing menunjukkan perubahan tempoh khidmat turus TEKESAT menyingkiran Pb dari sampel air dan sampel air larut lesap (ALL) pada pelbagai kepekatan influen dan kadar alir larutan ke dalam turus. Setiap turus mempunyai ketinggian yang dipilih iaitu tiga meter dan luas keratan rentas turus satu meter persegi. Kepekatan influen Pb adalah antara 0.25 mg/L dan 5.0 mg/L. Kadar alir adalah antara 0.2 m³/m²/jam (200 liter sejam) dan 2.0 m³/m²/jam (2000 liter sejam).

Plotan-plotan pada Rajah 1 dan Rajah 2, menunjukkan bahawa tempoh khidmat turus menurun apabila kadar alir atau kepekatan influen meningkat. Ini adalah sesuai dengan Persamaan 2. Persamaan tersebut menunjukkan bahawa pada tinggi turus yang tetap, tempoh bulus berkadar songsang terhadap kepekatan influen dan kadar alir.

Pemilihan tinggi lapisan turus TEKESAT disesuaikan dengan masa sentuh (60 – 80 minit) dan kecekapan turus (maksimum 80%) sebagaimana yang diperolehi hasil ujian turus.



Rajah 1. Tempoh khidmat Turus TEKESAT menyingkir Pb dari sampel air dengan pelbagai kepekatan influen dan kadar alir.



Rajah 2. Tempoh khidmat Turus TEKESAT menyingkir Pb dari sampel ALL dengan pelbagai kepekatan influen dan kadar alir.

Kepelbagaian tinggi lapisan turus pula mempunyai kesan terhadap kecekapan. Pengirannya dilakukan dengan membandingkan tinggi turus TEKESAT dan tinggi turus kritikal yang boleh diperolehi daripada Persamaan 2 apabila tempoh khidmatnya adalah sifar (Eckenfelder, 1989). Kecekapan turus TEKESAT pada pelbagai ketinggian lapisan turus dan kadar alir pun dapat dihitung. Plotan hasil kiraan ini ditunjukkan pada Rajah 3 bagi penyingkiran Pb dari sampel air dan Rajah 4 untuk penyingkiran Pb dari sampel ALL. Turus TEKESAT yang dipilih mempunyai luas keratan rentas satu meter persegi dan kepekatan influen Pb 5.0 mg/L. Rajah 3 dan Rajah 4 menunjukkan bahawa pertambahan tinggi lapisan turus TEKESAT meningkatkan kecekapan turus. Ini disebabkan peningkatan tinggi turus akan turut meningkatkan masa sentuh. Dengan demikian, tempoh khidmat akan menjadi lebih lama dan ini meningkatkan kecekapan. Walau bagaimanapun, peningkatan kecekapan turus tidak begitu bererti apabila tinggi lapisan turus melebihi tiga meter sebagaimana ditunjukkan pada rajah-rajah tersebut. Justeru, pemilihan tiga meter bagi tinggi lapisan turus diputuskan sebagai optimum.

KOS PENGENDALIAN

Penyediaan TEKESAT memerlukan sejumlah tenaga elektrik untuk proses pemanasan. Kajian mendapati penyediaan setiap kilogram TEKESAT memerlukan tenaga elektrik 4 KWJ. Jika diambil kira bahawa harga setiap KWJ tenaga elektrik ialah RM0.25, maka kos penyediaan menerusi proses pemanasan ialah RM1.00 bagi setiap kilogram TEKESAT. Jika kos pengangkutan TEKESAT mentah dianggarkan RM150 bagi setiap lori yang boleh membawa 5 meter padu TEKESAT mentah yang mempunyai ketumpatan mentah 1369 kg/m³, maka kos pengangkutan untuk setiap kilogram boleh dianggarkan, iaitu RM0.03. Oleh itu, jumlah anggaran kos penyediaan setiap kilogram TEKESAT ialah RM1.03.

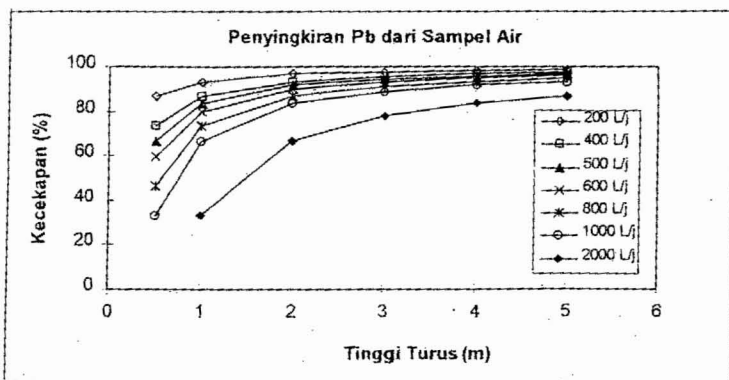
Ketumpatan TEKESAT di dalam turus adalah 507.57 kg/m³. Dengan demikian harga setiap meter padu TEKESAT dapat dihitung dan diperolehi harga tersebut ialah RMRM522.8.

Setiap turus TEKESAT yang dipilih, iaitu tiga meter tinggi dan satu meter persegi luas keratan rentas, tempoh bulusnya (tempoh khidmat) boleh diperolehi menggunakan Persamaan 2. Apabila ia digunakan untuk larutan sampel yang diketahui kadar alir dan kepekatan serta ditentukan kepekatan efluen sasaran, maka jumlah isipadu yang mampu diolah untuk mencapai efluen sasaran oleh turus TEKESAT tersebut akan diperolehi, iaitu dengan mendarabkan tempoh bulus dan kadar alir. Rumusan ini boleh dinyatakan sebagaimana Persamaan 3.

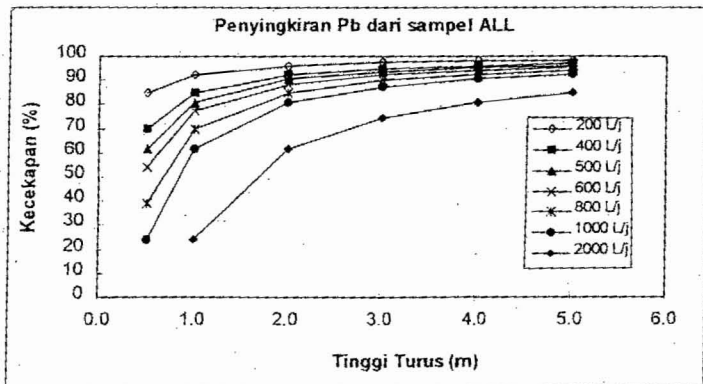
$$V_t = TB \times Q \quad \dots\dots\dots(\text{Pers.3})$$

dengan:

- V_t ialah isipadu larutan sampel terolah (m³)
- TB ialah tempoh turus bulus (jam)
- Q ialah kadar alir (m³/jam).



Rajah 3. Kecekapan Turus TEKESAT pada pelbagai ketinggian bagi penyingkiran Pb dari sampel air



Rajah 4. Kecekapan Turus TEKESAT pada pelbagai ketinggian bagi penyingkiran Pb dari sampel ALL

Oleh itu kadar kos yang menyatakan kos bagi setiap meter padu larutan sampel terolah, boleh dikira dengan membahagi kos setiap turus TEKESAT dengan jumlah isipadu larutan sampel terolah. Pengiraan tersebut dirumuskan sebagai Persamaan 4.

$$\text{Kadar Kos} = H(\text{RM}522.8)/V_1 \quad \dots\dots\dots (\text{Pers. 4})$$

dengan :

H ialah isipadu lapisan turus TEKESAT

RM522.8 ialah kos bagi setiap meter padu lapisan turus TEKESAT

V_1 ialah jumlah isipadu sampel larutan terolah.

Contoh hasil pengiraan kadar kos bagi penyingkiran Pb dari sampel air yang mempunyai pelbagai kepekatan influen dan kadar alir ditunjukkan pada Jadual 2. Hasil pengiraan kadar kos penyingkiran Pb dari sampel ALL pula dimuatkan pada Jadual 3.

Hasil pengiraan tersebut mendapati kadar kos bergantung kepada kadar alir dan kepekatan influen. Apabila kepekatan meningkat, maka kadar kos juga meningkat. Begitu juga kadar kos akan turut meningkat jika kadar alir meningkat. Hal ini dapat dijelaskan bersandarkan kepada kenyataan bahawa tempoh bulus berkadar songsang kepada kepekatan influen dan kadar alir sebagaimana Persamaan 2. Oleh itu, jika kadar alir atau kepekatan influen meningkat, maka takat bulus akan menurun. Ini jelas digambarkan pada Rajah 1 dan Rajah 2. Pengurangan tempoh bulus akan mengurangkan isipadu terolah (Persamaan 3). Oleh kerana kadar kos berkadar songsang terhadap isipadu bulus (Persamaan 4), pengurangan isipadu terolah yang diakibatkan peningkatan kadar alir dan kepekatan influen, akan meningkatkan kadar kos.

Jadual 2 : Kadar kos penyingkiran Pb dari sampel air pada pelbagai kepekatan antara 0.5 mg/L dan 10 mg/L, dan kadar alir antara 0.2 m³/m²/jam dan 2.0 m³/m²/jam (200 L/jam dan 2000 L/jam) menggunakan Turus TEKESAT berukuran 3 m tinggi dan 1m² luas keratan rentas.

C _{influen} (mg/l)	Kadar kos pada pelbagai kadar alir(RM/m ³)						
	200L/j	400L/j	500L/j	600L/j	800L/j	1000L/j	2000L/j
0.5	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.27	0.22
0.7	0.50	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.46
1.0	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
2.0	1.45	1.47	1.48	1.49	1.50	1.52	1.62
3.0	2.19	2.23	2.25	2.27	2.31	2.35	2.58
4.0	2.93	2.99	3.02	3.05	3.12	3.19	3.58
5.0	3.67	3.76	3.80	3.85	3.94	4.04	4.63
7.0	5.16	5.31	5.38	5.46	5.61	5.78	6.80
10.0	7.40	7.64	7.76	7.89	8.16	8.45	10.26

Jadual 3 : Kadar kos penyingkiran Pb dari sampel ALL pada pelbagai kepekatan antara 0.5 mg/L dan 10 mg/L, dan kadar alir antara 0.2 m³/m²/jam dan 2.0 m³/m²/jam (200 L/jam dan 2000 L/jam) menggunakan Turus TEKESAT berukuran 3 m tinggi dan 1m² luas keratan rentas.

C _{influen} (mg/l)	Kadar kos pada pelbagai kadar alir (RM/m ³)						
	200 L/j	400 L/j	500 L/j	600 L/j	800 L/j	1000 L/j	2000 L/j
0.5	20.93	19.61	19.02	18.45	17.42	16.50	13.05
1.0	44.77	44.77	44.77	44.77	44.77	44.77	44.77
2.0	90.70	91.88	92.48	93.09	94.33	95.61	102.57
3.0	136.86	139.51	140.87	142.25	145.11	148.09	165.01
4.0	183.21	187.52	189.76	192.04	196.79	201.78	231.05
5.0	229.69	235.84	239.03	242.32	249.17	256.42	300.05
6.0	276.29	284.39	288.63	292.99	302.12	311.84	371.62
10.0	463.49	480.41	489.35	498.62	518.26	539.51	678.66

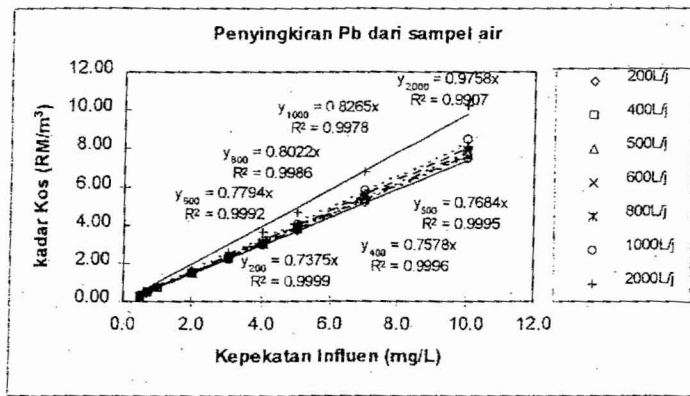
Perbincangan tersebut dapat diperjelaskan lagi dengan gambaran plotan-plotan kadar kos terhadap kepekatan pada pelbagai kadar alir sebagaimana Rajah 5 dan Rajah 6. Plotan tersebut dengan jelas menunjukkan peningkatan kadar kos dipengaruhi oleh kadar alir dan kepekatan influen. Hubungkait kadar kos dan kepekatan influen boleh dinyatakan secara umum sebagai suatu persamaan lurus berikut:

$$y = kx \quad \dots\dots\dots(\text{Pers. 5})$$

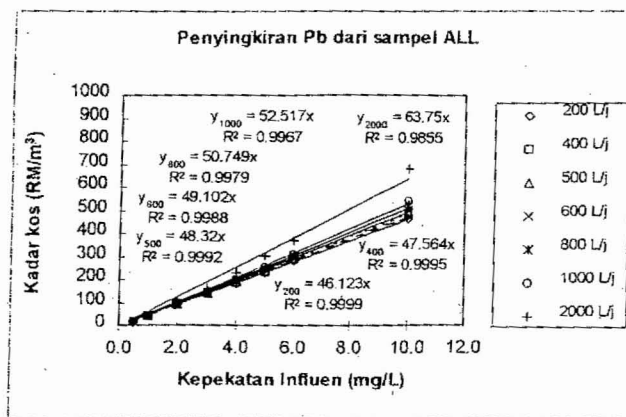
dengan :

- y ialah kadar kos
- x ialah kepekatan influen
- k ialah kecerunan plotan kadar kos melawan kepekatan
(unit k ialah RM/m³/(mg/L))

Kecerunan plotan tersebut (nilai k) menunjukkan pertambahan kos apabila kadar alir meningkat. Nilai-nilainya dimuatkan di dalam Jadual 4. Peningkatan kecerunan bersama pertambahan kadar alir itu menunjukkan bahawa kadar kos bergantung kepada kadar alir.



Rajah 5 Perubahan kadar kos pada pelbagai kepekatan influen dan kadar alir bagi penyingkiran Pb dari sampel air



Rajah 6 Perubahan kadar kos pada pelbagai kepekatan influen dan kadar alir bagi penyingkiran Pb dari sampel ALL

Jadual 4 : Perbandingan kecerunan (k , sebagai unit $\text{RM}/\text{m}^3/(\text{mg}/\text{L})$) plotan kadar kos lawan kepekatan pada pelbagai kadar alir bagi penyingkiran Pb dari sampel-sampel air dan ALL menggunakan Turus TEKESAT yang tingginya 3 m dan luas keratan rentas 1 m^2 .

q (L/j)	Dalam sampel ALL	Dalam sampel air
200	46.123	0.7375
400	47.564	0.7578
500	48.32	0.7684
600	49.102	0.7794
800	50.749	0.8022
1000	52.517	0.8265
2000	63.75	0.9758

Nilai-nilai k yang kecil menunjukkan bahawa perubahan kadar kos adalah kecil juga. Daripada contoh pengiraan tersebut juga boleh disimpulkan bahawa kadar kos penyingkiran Pb dari sampel air adalah jauh lebih rendah berbanding kadar kos untuk penyingkiran Pb dalam sampel ALL. Contoh hasil pengiraan pada Jadual 2 dengan jelas menunjukkan kadar kos penyingkiran Pb dari sampel air adalah antara RM0.34 dan RM10.26, berbanding kadar kos penyingkiran Pb dari sampel ALL, iaitu antara RM21.00 dan RM680.00 sebagaimana yang ditunjukkan pada Jadual 3.

CONTOH KAJIAN KES TEMPATAN

Purata kadar alir efluen dari tapak pelupusan sampah tempatan adalah $13 \text{ m}^3/\text{hari}$. Jika kepekatan tertinggi diambil sebagai bahan kajian kes, iaitu $0.16 \text{ mg}/\text{l}$ Pb dalam sampel ALL, dan efluen sasaran yang terbaik diambilkira, iaitu $0.001 \text{ mg}/\text{L}$ (Lokman dan Fadil, 1992), maka kadar kos pengendalian turus TEKESAT yang tingginya 3 meter dan luas keratan rentas 1 m^2 boleh diperolehi. Dengan menggunakan kaedah pengiraan yang sama sebagaimana perbincangan sebelum ini, diperolehi bahawa kadar kos untuk penyingkiran Pb dari sampel ALL untuk kajian ini adalah $\text{RM}8.43/\text{m}^3$. Kos bulanan pula adalah $\text{RM}3,136.8$.

Nilai-nilai kos bulanan tersebut boleh juga dibandingkan dengan kos bulanan bagi penggunaan CAC yang turut dijadikan bahan kajian sebagai bandingan. Tempoh bulus bagi turus CAC telah dianggarkan bersandarkan pemalar Freundlich yang diperolehi daripada ujian kelompok terhadap sampel menggunakan CAC (Metcalf and Eddy, 1991). Harga setiap kilogram CAC pula dianggarkan antara RM1.05 dan RM4.50. Kejerapan (X/M) Pb pula dianggarkan antara 20% dan 50% daripada kejerapan yang diperolehi daripada ujian kelompok (Metcalf dan Eddy, 1991). Jadual 5 adalah kos bulan bagi penyingkiran Pb menggunakan turus CAC yang ukuran tinggi dan luas keratan rentasnya adalah sama sebagaimana turus TEKESAT. Kos-kos tersebut adalah antara RM892 dan RM9,553.

Persoalan yang ingin ditimbulkan di sini ialah apakah anggapan 20% dan 50% untuk kejerapan itu tepat. Jika ia lebih rendah daripada anggapan tersebut, maka kos bulanan penggunaan CAC tentu jauh lebih tinggi. Begitu juga anggaran kos setiap kilogram.

Jadual 5 : Kos pengendalian bulanan bagi penyingkiran Pb dari sampel ALL kajian kes tempatan menggunakan turus CAC yang tingginya 3 meter dan luas keratan rentas semeter persegi.

Harga CAC (RM/kg)	Kos Bulanan Penyingkiran Pb (RM) dengan pelbagai %(X/M)				
	20%(X/M)	25%(X/M)	30%(X/M)	40%(X/M)	50%(X/M)
1.05	2,229	1,783	1,486	1,114	892
1.50	3,184	2,547	2,123	1,592	1,274
2.00	4,246	3,397	2,830	2,123	1,698
2.50	5,307	4,246	3,538	2,654	2,123
3.00	6,369	5,095	4,246	3,184	2,547
3.50	7,430	5,944	4,953	3,715	2,972
4.00	8,491	6,793	5,661	4,246	3,397
4.50	9,553	7,642	6,369	4,776	3,821

KESIMPULAN

Penggunaan TEKESAT sebagai bahan penjerap seperti CAC sesuai dengan kaedah turus yang mempunyai ukuran tinggi 3 meter dan luas keratan rentas 1 m². Kadar kos untuk pengendalian turus TEKESAT adalah dipengaruhi oleh kadar alir dan kepekatan influen. Kos penggunaan TEKESAT boleh dianggap setanding kos penggunaan CAC.

RUJUKAN

- [1] The American Society for Testing and Materials - ASTM (1992). Standard Practice for Estimating the Operating Performance of Granular Activated Carbon for Removal of Solute Pollutants from Water. Philadelphia. (D 3922-89)
- [2] APHA, AWWA and WPCF (1992), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition, Washington D.C., American Public Health Association
- [3] Arulanantham, A.; Balasubramaniam, N. & Ramakrishna, T.V. (1989), "Coconut Shell Carbon for Treatment of Cadmium dan Lead Containing Wastewater", Metal Finishing, November, pp 51 – 55

- [4] Asiah Husin & Wan Rusli Wan Sulaiman (1992), "Kajian Sifat-Sifat Permukaan Karbon Teraktif Daripada Tempurung Kelapa Sawit, Tempurung Biji Getah dan Kulit Buah Getah", Simposium Kebangsaan Kimia Analisis, ITM Shah Alam, Sept.
- [5] Bernardin, F. E. Jr. (1985), Experimental Design and Testing of Adsorption and Adsorbates." Dalam Slejko, F. L. . Adsorption Technology. New York: Marcel Dekker Inc.; 37-90.
- [6] Bhargava, D. S. and Sheldarkar, S. B. (1993), " Use of Tamarind Nut Shell Activated Carbon (TNSAC) in Phosphate Adsorption Studies.", Water Resources, Vol. 27, No. 2, pp 303 – 335
- [7] Chan, K.C., Goh, S. H. & Tan, W. I. (1980), "Activated carbon from oil palm nut shell." Mal. J. Sci. ; 6: 131-137
- [8] Eckenfelder, Jr. W. W. (1989). Industrial Water Pollution Control. Second Edition. Singapore: McGraw-Hill
- [9] Fadil Othman, Normala Hashim & Nasly Mohamad Ali (1989), "Penggunaan Bahan Tempatan untuk Merawat Airsisa", Seminar Kebangsaan Pengurusan Air dan Airsisa, K.Lumpur
- [10] Fadil Othman, Mohd Razman Salim dan Rahmalan (1994), "MOPAS for Heavy Metal Removal from Wastewater Samples.", Proc. 20th WEDC Conference, Colombo. Sri Langka
- [11] Jamil Ismail (1992), "Suatu kajian ke atas Penjerapan Logam-Logam Berat oleh Bahan Lignoselulosik daripada Habuk Kayu dan Jerami Padi", Simposium Sumber Alam Kebangsaan Pertama, UKM Sabah, 23 - 26 Julai
- [12] Normah Mulop, Ramlan Abdul Aziz & Ku Halim Ku Hamid (1992), " Penggunaan Bahan Buangan Pertanian Bagi Menghasilkan Karbon Teraktif ", Simposium Sumber Alam Kebangsaan Pertama, UKM Sabah
- [13] Okieimen, F. E., Okundia, E. U. & Ogbeifun, D. E. (1991); " Sorption of Cadmium and Lead Ions on Modified Groundnut (*Arachis hypogea*) Husks", J. Chem. Tech. Biotechnol., Vol. 51, 97 - 103
- [14] Peavy, H.S. , Rowe, D. R. and Tchobanoglous, G. (1986), Environmental Engineering, Singapore, McGraw-Hill Inc.
- [15] Slejko, Frank L. (1985, Adsorption Technology: A Step-by-Step Approach to Process Evaluation and Application, New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- [16] Weber, Walter J. (1985). "Adsorption Theory, concept, and Models", dalam Slejko, Frank L. (1985, Adsorption Technology: A Step-by-Step Approach to Process Evaluation and Application, New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.