

HUBUNGAN PERMINTAAN KLOLIN DENGAN KUALITI AIR MENTAH

Lim Fang Yee & Md. Pauzi Abdullah

*Pusat Pengajian Sains Kimia & Teknologi Makanan, Fakulti Sains & Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor.*

Kata Kunci: Permintaan klorin, ammonia, jumlah karbon organik, lembangan Sungai Semenyih

Abstrak.

Klorin sebagai agen disinfeksi dalam air minuman telah digunakan secara meluas sejak ia berjaya dipraktikkan dalam bekalan air minuman di Jersey City pada 1908. Kebanyakan loji rawatan air di Malaysia menggunakan klorin sebagai agen disinfeksi untuk membunuh patogen dan bahan pencemar yang membahayakan para pengguna. Oleh kerana klorin merupakan agen disinfeksi yang kuat, ia boleh bertindak balas dengan komponen-komponen kimia seperti mangan, ferum, hidrogen sulfida, ammonia, dan fenol dalam air. Tindak balas ini berlaku dengan pantas, dan klorin tidak akan bertindak sebagai agen disinfeksi sehingga semua sebatian organik dan inorganik yang hadir dalam air telah bertindak balas dengan klorin. Komponen-komponen kimia yang boleh bertindak balas dengan klorin akan menyebabkan permintaan klorin dalam air. Permintaan klorin dalam air perlu dipenuhi sebelum klorin bebas terhasil. Klorin bebas ini seterusnya akan mengurai kepada asid hipoklorus dan ion hipoklorit yang penting dalam proses disinfeksi untuk membunuh patogen dan bahan pencemar dalam air. Kebanyakan loji rawatan air mengekalkan klorin bebas sebanyak 0.2 mg/l dalam sistem pengagihan sebelum sampai kepada pengguna. Kajian ini melibatkan penentuan parameter-parameter yang dipercayai boleh bertindak balas dengan klorin di sembilan stesen pensampelan di sepanjang Sungai Semenyih dan empat stesen di loji rawatan air. Parameter-parameter yang ditentukan terdiri daripada ammonia, sianida, sulfida, fenol, fosforus, nitrit, mangan, ferum, dan karbon organik jumlah. Secara keseluruhannya, kajian ini mendapati ammonia dan karbon organik jumlah merupakan sebatian yang paling banyak bertindak balas dengan klorin untuk menghasilkan trihalometana dan kloramina. Selain itu, kepekatan sebatian-sebatian sianida, sulfida, fenol, fosforus, nitrit, mangan, dan ferum juga menurun selepas proses pengklorinan. Hasil kajian ini boleh digunakan menilai tahap permintaan klorin di Sungai Semenyih.

Pengenalan

Disinfeksi merupakan proses yang paling penting dalam proses rawatan air mentah kerana proses ini berupaya memusnahkan penyakit yang disebabkan oleh mikroorganik patogen [1]. Sebarang bentuk proses disinfeksi adalah perlu untuk menyingkirkan mikroorganisma yang boleh membahayakan. Klorin digunakan secara meluas sebagai disinfektan kerana ia murah dan berkesan. Hampir semua loji rawatan air di Malaysia menggunakan klorin dalam proses disinfeksi [2-5]. Di sebalik keberkesanan proses pengklorinan bagi membunuh patogen dalam air, pengklorinan didapati dapat menjanakan hasil sampingan seperti trihalometana (THM) yang merupakan sebatian halo-organik yang terbukti bersifat karsinogenik dan mutagenik [6,7]. Klorin yang digunakan sebagai agen disinfeksi dalam proses rawatan air telah menyebabkan isipadu air terawat mengandungi sebatian berklorin yang tinggi [8].

Klorin merupakan agen pengoksidaan yang kuat. Gas klorin sangat larut dalam air dan dapat membentuk asid hipoklorus (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl⁻) dengan cepat [9]. Klorin bebas ialah jumlah HOCl dan OCl⁻ yang hadir. HOCl adalah agen disinfeksi yang lebih cekap daripada OCl⁻. Keberkesanan pembasmian kuman HOCl adalah 40 kali lebih cekap daripada OCl⁻. Klorin adalah kurang berkesan sebagai disinfektan pada pH di bawah 6 dan pH yang melebihi 8 [10]. Klorin boleh mengoksidakan banyak komponen yang hadir dalam air. Apabila klorin dilarutkan dalam air, sebatian organik dan agen penurun yang lain akan bertindak balas dengan klorin bebas ini dan menyebabkan permintaan klorin dalam air. Klorin yang selebihnya akan memusnahkan dan merosakkan protein dan asid nukleik mikroorganisma dalam air [11,12]. Kepekatan sebatian organik dan pepejal terampai yang tinggi dalam air mentah sering menyebabkan permintaan klorin yang tinggi dan mengurangkan keberkesanan klorin sebagai disinfektan [13,14]. Akibatnya, klorin yang lebih perlu didoskan untuk membunuh patogen dalam air.

Disinfeksi air minum dengan menggunakan klorin akan menghasilkan bahan sampingan yang boleh memudaratkan kesihatan orang awam [15,16]. Kebimbangan yang dinyatakan akhir-akhir ini tentang adanya kepekatan surihan sebatian organoklorin dalam air adalah penyebab barah apabila diuji pada dos yang tinggi terhadap haiwan. Kewujudan trihalometana dalam air minum di Malaysia boleh membimbangkan masyarakat kerana ianya berhubungkait dengan kesihatan manusia [17]. Penemuan saintifik ini telah menyebabkan isu THM menjadi satu perkara yang dibimbangkan dan perlu diberi penekanan dan perhatian pada peringkat kebangsaan dan juga antarabangsa [18]. Selain itu, agen penurun yang hadir dalam air boleh bertindak balas secara reaktif dengan klorin. Permintaan klorin ini mesti dipenuhi sebelum klorin dapat bertindak sebagai disinfektan. Adalah perlu supaya kajian dan penyelidikan dibuat dengan memberikan kawalan proses yang berhati-hati dan penggunaan dos klorin yang sesuai dalam proses disinfeksi. Penggunaan dos klorin yang optimum supaya tidak terlalu kurang dan tidak menentu luar daripada yang diperlukan adalah penting. Kajian ini bertujuan untuk mengenalpasti komponen-komponen yang boleh bertindak balas dengan klorin serta punca-puncanya, supaya pengurusan dan tindakan dapat diambil untuk menyingkirkan pelopor yang boleh menyebabkan permintaan klorin.

Experimen

Kawasan Kajian

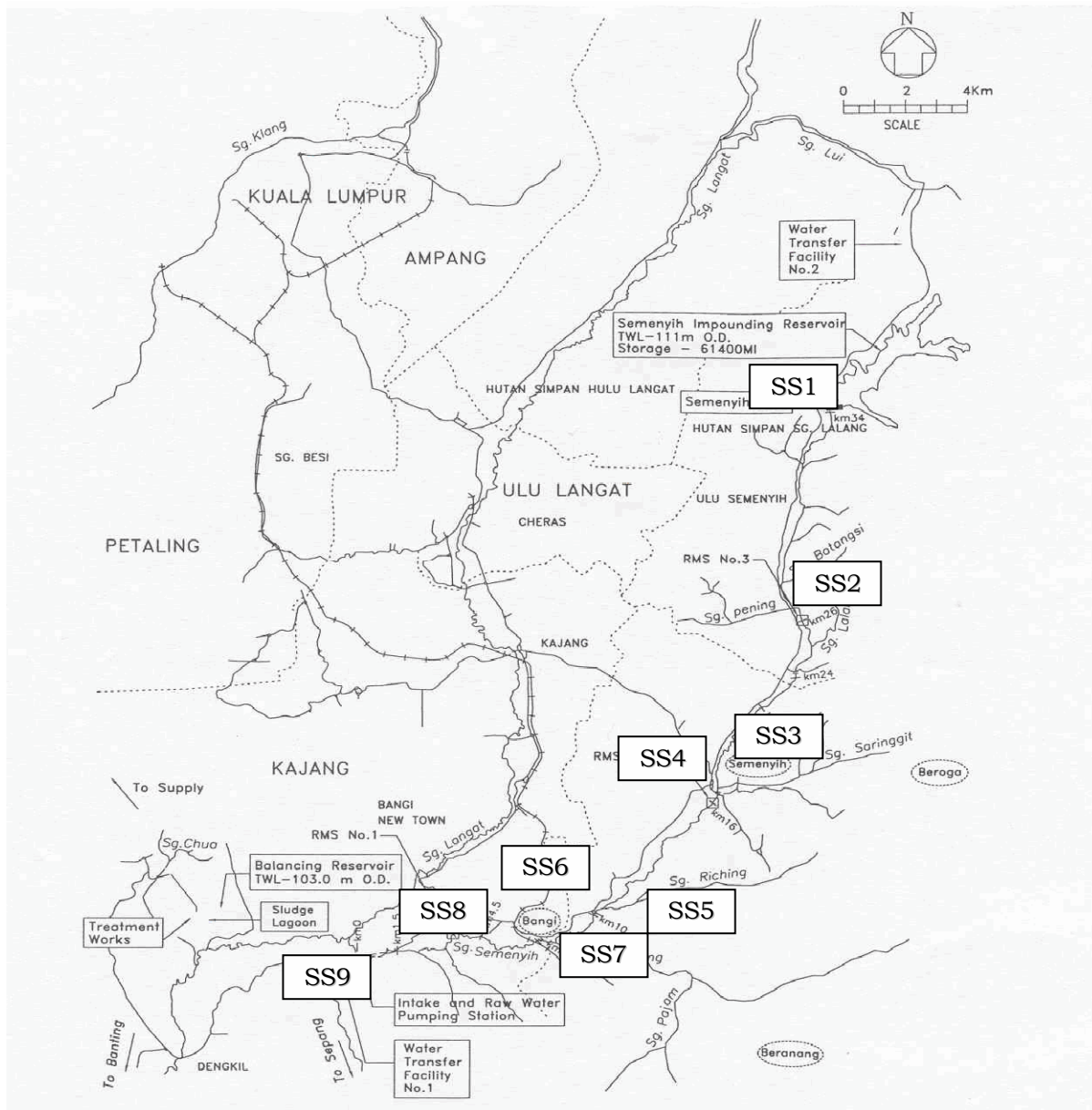
Loji pembersihan air Sungai Semenyih terletak di Presint 19, Putrajaya. Loji ini mendapatkan sumber air mentahnya dari Sungai Semenyih. Air mentah dipamkan melalui saluran paip sepanjang 8 km dari Jenderam Hilir ke loji pembersihan air untuk proses perawatan.

Pensampelan air dilakukan di empat stesen di dalam loji pembersihan air. Keempat-empat stesen ini adalah mengikut susunan proses rawatan air, iaitu air mentah, air mendap, air tapisan, dan air bersih. Pendosan klorin dilakukan selepas air diturunkan dengan pasir deras untuk menyingkirkan jisim pepejal dalam air, iaitu klorin ditambahkan ke dalam air tapisan. Selepas proses pengklorinan, air disalurkan ke tangki air bersih dan seterusnya dipam ke kolam imbang. Dari kolam imbang, air bersih disalurkan secara graviti ke kolam agihan sebelum disalurkan kepada pengguna.

Jadual 1 Lokasi Stesen Pensampelan di Sungai Semenyih

Stesen	Latitud	Longitud	Lokasi
SS1	N 03° 04.572'	E 101° 53.034'	Empangan
SS2	N 03° 00.520'	E 101° 52.125'	Sungai Semenyih
SS3	N 02° 56.866'	E 101° 50.891'	Sungai Saringgit
SS4	N 02° 56.615'	E 101° 50.808'	Sungai Semenyih
SS5	N 02° 54.308'	E 101° 48.690'	Sungai Rinching
SS6	N 02° 54.213'	E 101° 48.533'	Sungai Semenyih
SS7	N 02° 53.160'	E 101° 48.373'	Sungai Beranang
SS8	N 02° 53.021'	E 101° 47.560'	Sungai Semenyih
SS9	N 02° 53.021'	E 101° 49.163'	Stesen Pam Air Mentah

Sumber air mentah iaitu Sungai Semenyih mengalir melalui tiga mukim, iaitu Hulu Semenyih, Semenyih, dan Beranang. Dalam kajian untuk menentukan punca-punca yang menyebabkan permintaan klorin, sebanyak sembilan stesen telah dipilih bagi mewakili kawasan kajian. Terdapat beberapa aktiviti yang dijalankan di lembangan Sungai Semenyih yang berpotensi mencemarkan Sungai Semenyih, iaitu perindustrian, pembinaan, pertanian, dan penternakan. Kawasan kajian mempunyai topografi yang seimbang dengan adanya kawasan landai, beralun, dan tanah tinggi. Lebih kurang 65 % lembangan Sungai Semenyih adalah bergunung-ganang dan kawasan hilir sungai adalah berpaya. Semua stesen pensampelan yang tersebut di atas ditunjukkan dalam rajah 1. Pemilihan sembilan stesen pensampelan ini adalah berasaskan kepada beberapa kriteria dan kesesuaian pensampelan dilakukan. Selain itu, kehomogenan air, bentuk muka bumi, sumber pencemaran, serta pertemuan anak-anak sungai dengan Sungai Semenyih merupakan faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan stesen-stesen seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.



Rajah 1 Peta kawasan kajian dan stesen-stesen pensampelan di lembangan Sungai Semenyih

Bahan dan Kaedah

Dalam kajian ini, sebanyak 14 kali pensampelan telah dijalankan antara bulan Disember 2004 hingga bulan Julai 2005. Sampel diambil dengan menggunakan kaedah “grab sampling”, iaitu dengan menggunakan bekas untuk menimba air di permukaan sungai atau lebih kurang 1 m dari permukaan sungai. Empat botol sampel yang berisipadu 1 liter digunakan, iaitu dua botol kaca dan dua botol plastik. Semasa pensampelan air, beberapa parameter kualiti air diukur secara *in situ*. Pengukuran parameter *in situ* dilakukan dengan menggunakan YSI 556 Multiprobe System (MPS) dan Ultrameter keluaran syarikat Myron L. Company. Parameter-parameter yang diukur secara *in situ* ialah suhu, konduktiviti, kemasinan, jumlah pepejal terlarut, oksigen terlarut, pH, klorofil A, dan keupayaan pengoksidaan dan penurunan.

Parameter-parameter kimia seperti ammonia, sianida, sulfida, fenol, fosforus, nitrit, karbon organik jumlah,

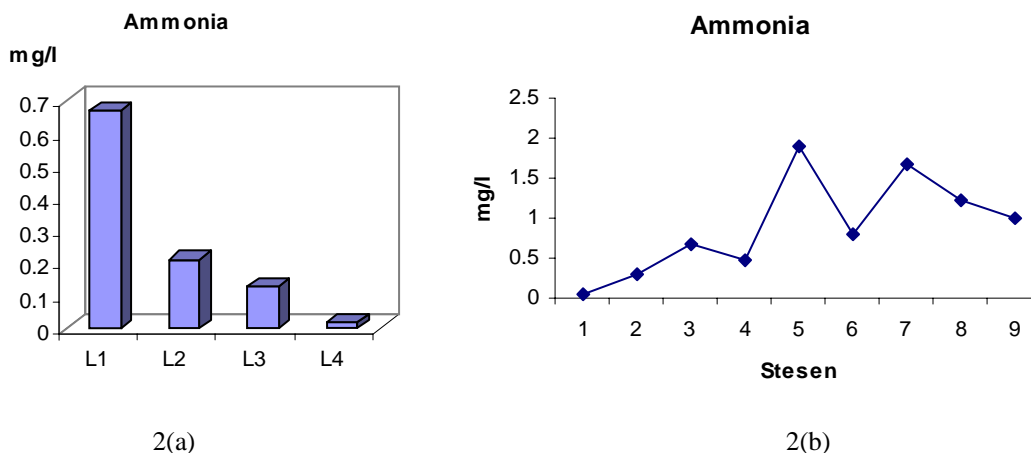
ferum, dan mangan dianalisis di makmal kimia Universiti Kebangsaan Malaysia. Semua sampel dianalisis secepat mungkin setelah pensampelan dilakukan. Dalam kes dimana sampel air tidak dapat dianalisis dengan serta merta, sampel air diawet dengan menggunakan asid sulfurik atau asid nitrik kepada pH 2 dan disimpan pada suhu 4 °C. Kesemua parameter ini dianalisis mengikut kaedah piawai yang telah ditetapkan [19].

Keputusan dan Perbincangan

Permintaan klorin terhasil daripada pelbagai tindak balas dimana klorin digunakan untuk mengoksidakan komponen-komponen yang hadir dalam air. Data yang terhad selama lapan bulan ini menunjukkan permintaan klorin di loji rawatan air Sungai Semenyih adalah disebabkan oleh ammonia, sianida, sulfida, fenol, fosforus, nitrit, mangan, ferum, dan karbon organik jumlah.

Ammonia

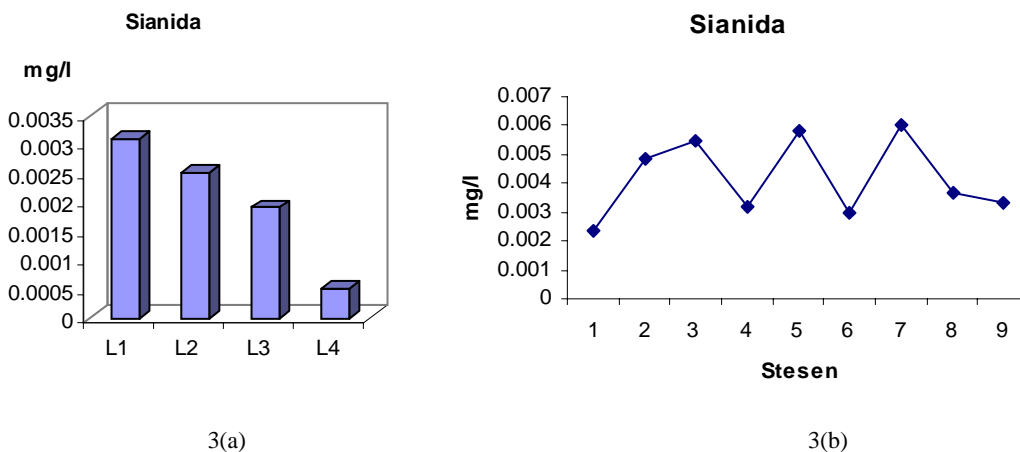
Dalam proses pengklorinan, tindak balas di antara ammonia dan klorin tidak dapat dielakkan. Tindak balas klorin dengan ammonia akan menghasilkan satu siri sebatian kloro-ammonia yang dipanggil kloramina. Rajah 2(a) di bawah menunjukkan pengurangan kepekatan ammonia di sepanjang proses rawatan air. Paras ammonia didapati berkurang sebanyak 88 % daripada air tapisan (L3) kepada air bersih (L4) selepas klorin didoskan. Rajah 2(b) menunjukkan tahap pencemaran ammonia di sepanjang Sungai Semenyih sebelum air dipamkan ke loji rawatan air. Punca pencemaran ammonia berlaku di stesen 5 (SS5) dan stesen 7 (SS7). Kedua-dua SS5 dan SS7 terletak berhampiran dengan Pusat Bandar Rinching dan Bandar Tasik Kesuma. Pencemaran ammonia boleh berpunca daripada kumbahan domestik dan sistem rawatan kumbahan yang belum siap. Permintaan klorin adalah berkadar dengan banyaknya ammonia yang hadir dalam air mentah. Tindak balas klorin dengan ammonia bergantung kepada suhu, pH, kepekatan ammonia, dos klorin, dan masa sentuhan [20].



Rajah 2: (a) Tahap pengurangan ammonia di loji rawatan air (b) Punca pencemaran ammonia di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Sianida

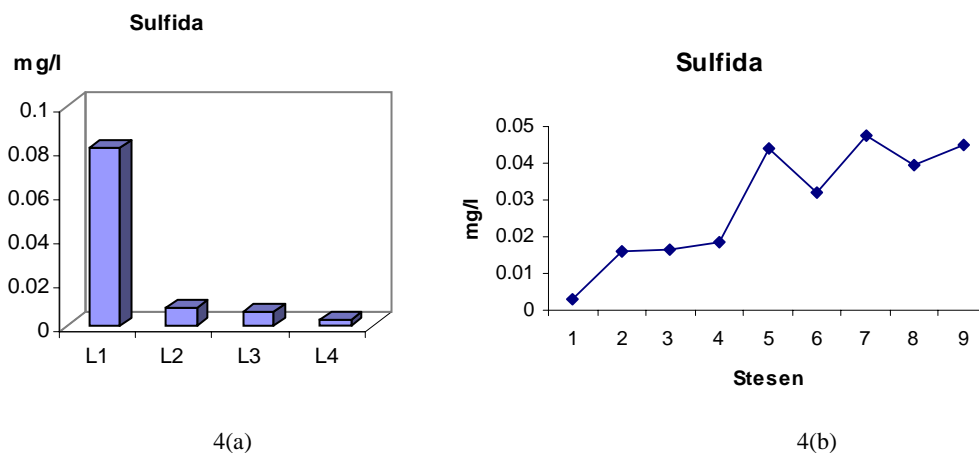
Dalam loji rawatan air Sungai Semenyih, sianida hadir dalam kepekatan yang rendah. Rajah 3(a) menunjukkan kepekatan sianida adalah kurang daripada 0.5 ppb dalam air bersih. Kajian yang dijalankan mendapati kepekatan sianida berkurang sebanyak 73.68 % selepas klorin didoskan. Punca pencemaran sianida berlaku di SS3, SS5, dan SS7 seperti yang ditunjukkan dalam rajah 3(b). Pencemaran sianida ini adalah disebabkan oleh pembuangan industri dan aktiviti pelupusan sampah yang terletak berhampiran dengan sungai. Sianida dihasilkan terutamanya oleh industri yang berasaskan elektropenjaduan dan racun insektisid [10].



Rajah 3: (a) Tahap pengurangan sianida di loji rawatan air (b) Punca pencemaran sianida di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Sulfida

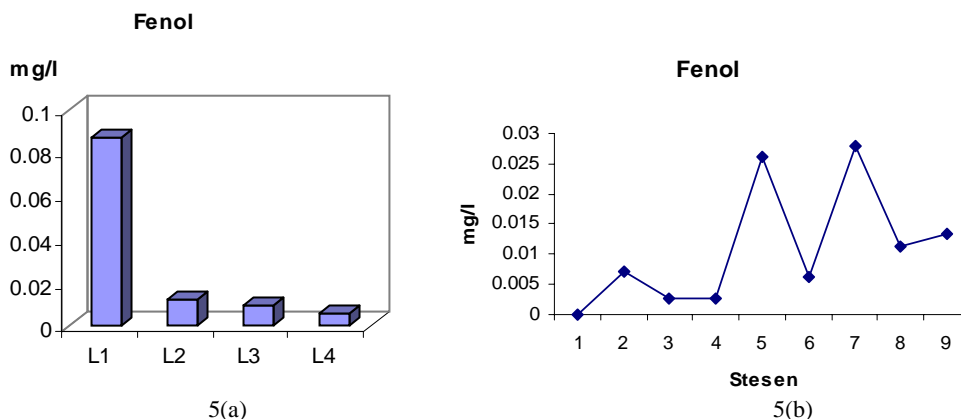
Ion sulfida biasanya dilepaskan daripada sisa industri yang berasaskan kimia, kertas, tekstil, dan aktiviti menyamak kulit binatang. SS5 dan SS7 mencatatkan bacaan sulfida yang tertinggi seperti yang ditunjukkan dalam rajah 4(b). Rajah 4(a) menunjukkan pengurangan kepekatan sulfida sepanjang proses rawatan air. Ion sulfida mengalami pengurangan sebanyak 61.46 % daripada air tapisan (L3) kepada air bersih (L4). Tindak balas sulfida dengan klorin berlaku dengan pantas dan menghasilkan sulfat dan hidrogen klorida.



Rajah 4: (a) Tahap pengurangan sulfida di loji rawatan air (b) Punca pencemaran sulfida di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Fenol

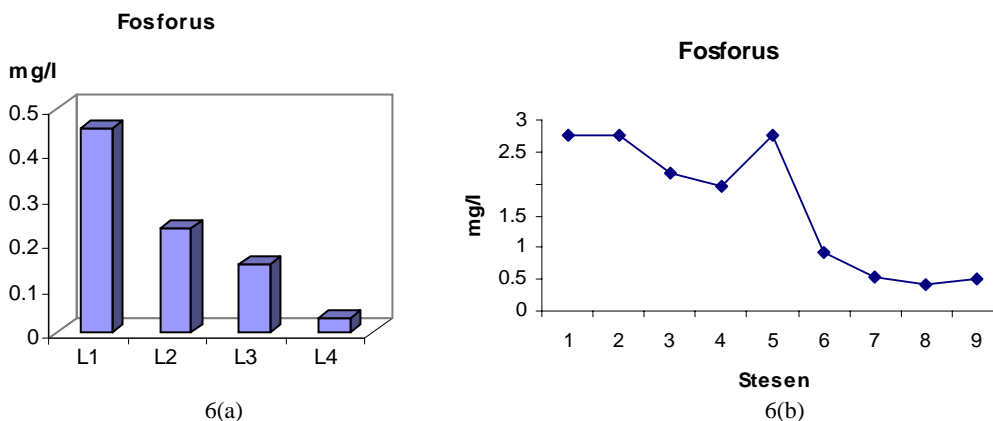
Alley [10] mendapati klorin dapat bertindak balas dengan fenol dengan mudah, dan sekiranya klorin hadir, kepekatan fenol dapat dikurangkan kepada tahap yang paling rendah. Rajah 5(a) menunjukkan pengurangan fenol dalam loji rawatan air sebelum dan selepas proses pengklorinan. Fenol didapati berkurang sebanyak 42 % selepas klorin ditambahkan. Rajah 5 (b) menunjukkan pencemaran fenol yang berlaku di SS5 dan SS7 yang mencatatkan bacaan sebanyak 0.26 mg/l dan 0.28 mg/l masing-masing. Pencemaran fenol di kedua-dua stesen ini adalah berpunca daripada aktiviti perindustrian yang menyalurkan sisanya ke dalam Sungai Semenyih.



Rajah 5: (a) Tahap pengurangan fenol di loji rawatan air (b) Punca pencemaran fenol di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Fosforus

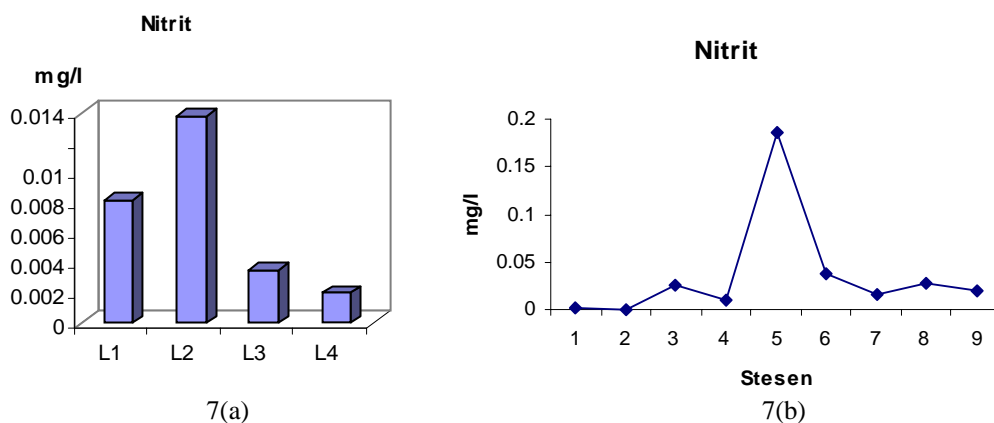
Fosforus yang hadir secara semulajadi biasanya wujud dalam bentuk fosfat. Kehadiran fosfat juga boleh disebabkan oleh detergen sintetik dan bahan pencuci. Rajah 6(a) menunjukkan tahap pengurangan fosforus sepanjang proses rawatan air. Fosforus berkurang sebanyak 78.69 % selepas klorin ditambahkan. Rajah 6(b) menunjukkan trend pencemaran fosforus di sembilan stesen di lembangan Sungai Semenyih. Punca pencemaran fosforus berlaku pada SS1, SS2, dan SS5. Selain detergen, kehadiran fosforus juga boleh dikaitkan dengan penggunaan baja dalam aktiviti pertanian.



Rajah 6: (a) Tahap pengurangan fosforus di loji rawatan air (b) Punca pencemaran fosforus di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Nitrit

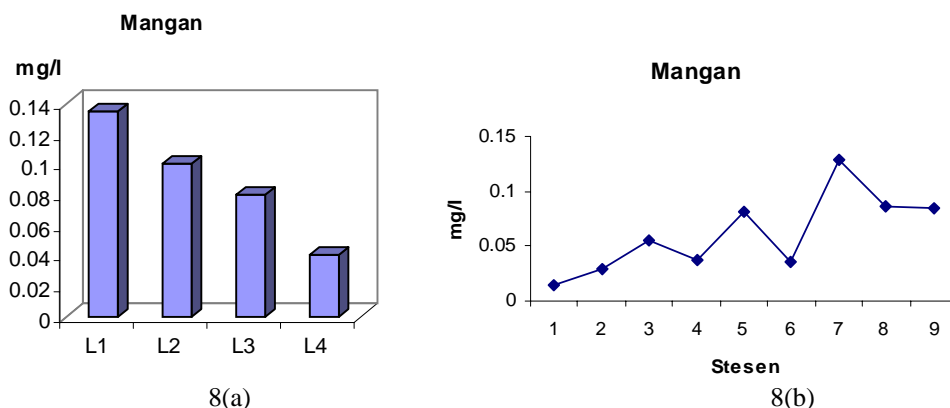
Nitrit merupakan sebahagian daripada bentuk nitrogen yang hadir dalam kitaran nitrogen. Nitrit terbentuk sebagai proses perantaraan dalam proses nitrifikasi [19]. White [1] mendapati nitrit boleh menghasilkan permintaan klorin yang tinggi apabila bertindak balas dengan klorin. Rajah 7(a) menunjukkan pengurangan nitrit selepas klorin ditambahkan pada L4. Secara amnya, nitrit yang hadir tidak memberikan permintaan klorin yang tinggi di loji rawatan air Sungai Semenyih. Pengurangan nitrit selepas proses pengklorinan ialah sebanyak 42.86 %. Kajian ini mendapati pencemaran nitrit adalah rendah di lembangan Sungai Semenyih kecuali SS5. Rajah 7(b) menunjukkan trend pencemaran nitrit di sembilan stesen di lembangan Sungai Semenyih. Kehadiran nitrit di SS5 boleh dikaitkan dengan sisa buangan industri dan aktiviti penternakan yang berhampiran



Rajah 7: (a) Tahap pengurangan nitrit di loji rawatan air (b) Punca pencemaran nitrit di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Mangan

Mangan merupakan logam berat yang boleh disingkirkan melalui proses pengoksidaan dengan klorin. Ini menunjukkan tindak balas boleh berlaku antara mangan dan klorin dan mangan boleh menyebabkan permintaan klorin dalam air. Pengurangan mangan dalam air bersih ialah 49.37 % selepas klorin didoskan seperti yang ditunjukkan dalam rajah 8(a).

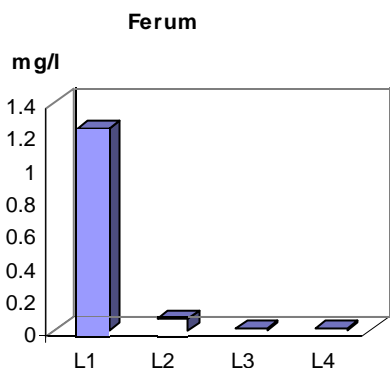


Rajah 8: (a) Tahap pengurangan mangan di loji rawatan air, (b) Punca pencemaran mangan di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

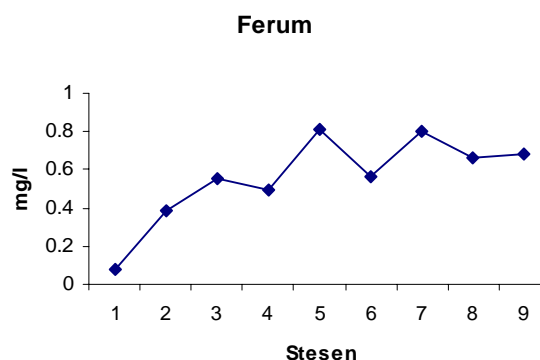
Pencemaran mangan di lembangan Sungai Semenyih adalah paling tinggi di SS7 seperti yang ditunjukkan dalam rajah 8(b). Pencemaran di SS7 adalah disebabkan oleh tapak pelupusan sisa pepejal yang berhampiran dengan Sungai Beranang. Selain itu, mangan juga hadir secara semulajadi dalam kepekatan yang rendah.

Ferum

Ferum biasanya wujud sebagai ferus bikarbonat yang larut separa dalam air. Klorin akan bertindak balas dengan ferum untuk menghasilkan ion ferik. Rajah 9(a) menunjukkan pengurangan ferum sepanjang proses rawatan air. Kebanyakan ferum boleh disingkirkan setelah air dimendapkan. Walaubagaimanapun, kepekatan ferum telah berkurang sebanyak 46 % selepas proses pengklorinan. Tindak balas ferum dengan klorin boleh berlaku dalam julat pH yang luas (pH 4-10). Kehadiran ferum dalam loji rawatan air adalah berpunca daripada SS5 dan SS7 seperti yang ditunjukkan dalam rajah 9(b). Sumber pencemaran ferum di kedua-dua SS5 dan SS7 berpunca daripada larut lesap dari tapak pelupusan sampah, kakisan daripada jambatan yang berhampiran dengan sungai, dan sisa buangan industri.



9(a)

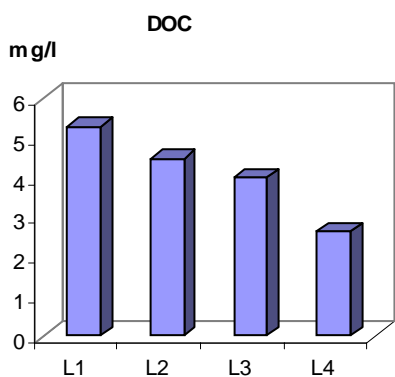


9(b)

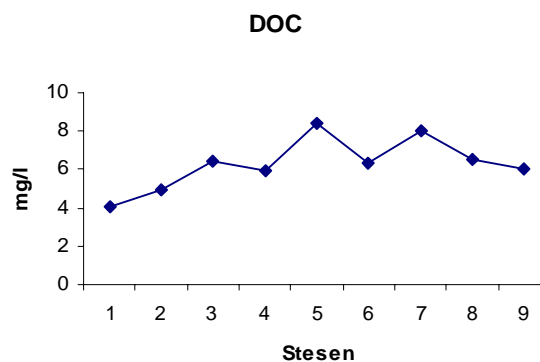
Rajah 9: (a) Tahap pengurangan ferum di loji rawatan air, (b) Punca pencemaran ferum di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Karbon Organik Jumlah

Karbon yang ditentukan dalam kajian ini ialah karbon organik terlarut (DOC). DOC meliputi semua bentuk karbon seperti karbon organik, karbonat tak organik, karbon dioksida, dan spesis yang lain seperti HCN yang larut dalam air. Rajah 10(a) menunjukkan kepekatan DOC dalam loji rawatan air, dimana DOC mengalami pengurangan sebanyak 33.91 % selepas proses pengklorinan. DOC merupakan pelopor yang boleh bertindak balas dengan klorin untuk menghasilkan THM, asid haloasetik, dan haloasetonitril yang boleh membawa kesan kepada kesihatan manusia. Oleh itu, punca pencemaran DOC perlu dikenalpasti. Rajah 10(b) menunjukkan SS5 dan SS7 merupakan dua stesen yang paling tercemar dengan karbon organik. Secara amnya, kepekatan DOC adalah paling tinggi berbanding dengan parameter-parameter yang lain yang boleh menyebabkan permintaan klorin. Jadi pengawalan pencemaran DOC dari buangan domestik, industri, dan pertanian adalah penting dalam menangani masalah permintaan klorin.



10(a)



10(b)

Rajah 10: (a) Tahap pengurangan DOC di loji rawatan air, (b) Punca pencemaran DOC di 9 stesen pensampelan di Sungai Semenyih

Jadual 2 Kepekatan komponen-komponen yang menyebabkan permintaan klorin dalam air tapisan

Komponen	Min (mg/l)	Julat (mg/l)
Ammonia	0.1255	0-0.36
Sianida	0.0019	0.001-0.003
Sulfida	0.0056	0.001-0.008
Fenol	0.0095	0.004-0.006
Forforus	0.1525	0.11-0.25
Nitrit	0.0035	0.001-0.005
Mangan	0.0797	0.018-0.116
Ferum	0.0141	0-0.020
DOC	4.0070	2.454-5.125

Faktor dan punca yang menyebabkan permintaan klorin di loji rawatan air Sungai Semenyih, yang merupakan salah satu sumber bekalan air utama di daerah Hulu Langat. Data yang terkumpul selama lapan bulan ini mendapati komponen-komponen yang menyebabkan permintaan klorin ialah ammonia, sianida, sulfida, fenol, fosforus, nitrit, mangan, ferum, dan karbon organik terlarut. Jadual 2 menunjukkan kepekatan komponen-komponen ini dalam air tapisan (sebelum pengklorinan). Keputusan kajian menunjukkan karbon dan ammonia boleh menyebabkan permintaan klorin yang tinggi berbanding dengan komponen-komponen yang lain.

Kesimpulan

Secara puratanya, kandungan karbon dan ammonia berkurang sebanyak 1.36 mg/l dan 0.111 mg/l masing-masing selepas klorin ditambahkan. Selain itu, kepekatan parameter-parameter yang lain seperti sianida, sulfida, fenol, nitrit, fosforus, mangan, dan ferum juga berkurang selepas proses pengklorinan. Parameter-parameter ini tidak mempengaruhi permintaan klorin dengan banyak berbanding dengan DOC dan ammonia kerana hadir dalam kepekatan yang rendah. Kajian ini turut mendapati terdapat dua stesen di lembangan Sungai Semenyih yang menjadi punca yang menyebabkan permintaan klorin, iaitu SS5 dan SS7. Punca pencemaran yang dikenalpasti di SS5 dan SS7 ialah aktiviti perindustrian, kumbahan domestik, pertanian, penternakan, dan larut lesap dari tapak pelupsan sisa pepejal. Langkah-langkah yang bersesuaian perlu diambil untuk melaksanakan pendekatan pengurusan yang bersistematik supaya pencemaran sungai dapat diminimumkan, dan seterusnya permintaan klorin dapat dikurangkan untuk menjimatkan kos rawatan air.

Penghargaan

Setinggi-tinggi penghargaan ditujukan kepada Konsortium Abass Sdn. Bhd. di atas sumbangan Geran Penyelidikan STGL-011-2005 dan UKM di atas geran UKM-ST-01-FRGS0033-2006. Kemudahan yang disediakan oleh Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Universiti Kebangsaan Malaysia serta kepada semua pihak yang terlibat dalam menjayakan projek ini, sangat dihargai.

Rujukan

- White, G.C. (1992). *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfections*. Ed. ke-3. New York: Van Nostrand Reinhold Publisher, Inc.
- Sukiman, S. & Pauzi, A. (1993). Chemical Quality of Malaysian Drinking Water Sources. *Drinking Water Quality: Microbiological and Public Health Aspects*, UKM: 63-69.
- Johari, M. A. (1994). Perkembangan Teknologi Dalam Sistem Bekalan Air. Paper Presented at SKAM-7, Kuala Lumpur. 27-29 Sept.
- Wan, K. J., Ki, D. K., Jong, I. D. & Yong. C. (2005). Multi-route Trihalomethane Exposure in Households Using Municipal Tap Water Treated with Chlorine or Ozone-Chlorine. *Sci. of the Tot. Environ.* 339: 143-152.
- Sukiman, S. & Pauzi, A. (1993). Chemical Quality of Malaysian Drinking Water Sources. *Drinking Water Quality: Microbiological and Public Health Aspects*. UKM: 63-69.
- Rook, J. J. (1974). Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Water. *Water Treat. Exam.* 23: 234-243.
- Bellar, T. A., Lichtenberg J. J. & Kroner, R. C. (1974). The Occurrence of Organohalogenes on Chlorinated Drinking Waters. *J. AWWA.* 66: 703-706.

8. Tachikawa, M., Aburada, T., Tezuka, M. & Sawamura, R. (2005). Occurrence and Production of Chloramines in The Chlorination of Creatinine in Aqueous Solution. *Water Res.* 39: 371-379.
9. Macolo, G., Lopez, A., James, H. & Fielding, M. (2001). By-Products Formation During Degradation of Isoproturan In Aqueous Solution. II: Chlorination. *Water Res.* 35(7): 1705-1713.
10. Alley, E. R. (2000). *Water Quality Control Handbook*. New York: McGraw-Hill Inc.
11. Chanratchakool, P. (1995). White Patch Disease of Black Tiger Shrimp (*Penaeus Monodon*). *AAHRI Newsletter*. 4(1): 3.
12. Aacher, A., Fischer, E., Turnheim, R., Manor, Y. (1997). Ecologically Friendly Wastewater Disinfection Techniques. *Water Res.* 31(6): 1398-1404.
13. Hopkins, J.S., Hamilton, R.D. II, Sandifier, P.A., Browdy, C.L., Stokes, A.P. (1993). Effects of Water Exchange Rate On Production, Water Quality, Effluent Characteristics and Nitrogen Budgets of Intensive Shrimp Ponds. *J. World Aquacult. Soc.* 24(3): 304-320.
14. Dierberg, F. F., Kiattisimkul, W. (1996). Issue, Impacts, and Implications of Shrimp Aquaculture in Thailand. *Environ. Man.* 20(5): 649-666.
15. Rook, J. J. (1976). Haloforms in Drinking Water. *J. AWWA.* 68: 168-172.
16. Cotruvo, J. A. & Wu, C. (1981). Controlling Organics. Why Now?. *J. AWWA.* 70: 590-594.
17. Morrow, C. M. & Minear, R. A. (1987). Use of Regression Models to Link Raw Water Characteristics to Trihalomethanes Concentrations in Drinking Water. *J. Wat. Res.* 21: 41-48.
18. El-Dib, M. & Ali, R. (1995). THMs Formation During Chlorination of Raw Nile River Water. Egypt. *J. Wat. Res.* 29: 375-378.
19. APHA. (1998). *Standard Method For the Examination of Water and Wastewater*. Ed. ke-20. Washington: American Public Health Association.
20. Faust, S. D. & Aly, O. M. (1998). *Chemistry of Water Treatment*. Ed ke-2. New York: Lewis Publishers.