

Kesan Kepekatan Mangan Terhadap Biojerapan Mangan oleh Pencilan *Bacillus Cereus* Tempatan

(Effect of Initial Concentrations on Biosorption of Manganese by Locally Isolated *Bacillus Cereus*)

Fathiyah Mohd Zainudin, Hassimi Abu Hasan* & Siti Rozaimah Sheikh Abdullah

ABSTRAK

Masalah pencemaran mangan (Mn) yang terkandung dalam air sangat bertoksik kepada hidupan kerana boleh menyebabkan pengumpulan pada gastro usus, penurunan tahap hemoglobin dalam darah, ketoksikan saraf, rasa mual, air kelihatan coklat kemerahan, dan juga paip tersumbat. Dalam ujikaji yang dijalankan, Mn yang terkandung dalam air dirawat dengan menggunakan pencilan *Bacillus cereus* tempatan. Biojerapan mangan dilakukan dengan menggunakan tiga kepekatan mangan iaitu 25, 40 dan 100 mg/L. Analisis yang terlibat dalam kajian ini adalah analisis ketumpatan optik (OD), pH, kepekatan mangan, biojisim dan unit pembentukan koloni (CFU). Keputusan menunjukkan OD, pH dan juga biojisim meningkat mengikut masa menggambarkan pertumbuhan bakteria. Kepekatan Mn menurun daripada 25, 40 dan 100 mg/L kepada 10.2, 18.6 dan 52.2 mg/L dengan peratus penyingkiran masing-masing sebanyak 55, 53 dan 50 % selepas 48 jam tempoh eraman. Manakala peratus pengambilan Mn oleh *B.cereus* menurun apabila kepekatan awal Mn ditingkatkan. Oleh yang demikian, proses biojerapan Mn oleh pencilan *B.cereus* tempatan dipengaruhi oleh peningkatan kepekatan awal Mn.

Kata kunci: *Bacillus cereus*; pencemaran air; teknologi rawatan air; penyingkiran mangan; biojerapan

ABSTRACT

Problem of manganese (Mn) pollutions that found in water is highly toxic to living thing, which can cause gastro intestinal accumulation, low heamoglobin levels in blood, neurotoxicity, nausea, water appears reddish brown and also can cause of clogged pipes. Biosorption of manganese is done using difference concentration of Mn concentration which is 25, 40 and 100 mg/L. The analysis of this study were optical density (OD), pH, manganese concentrations, biomass and colony forming unit (CFU). The result shown for OD, pH and biomass increased over time reflects the growth of bacteria. Concentration of Mn decreased from 25, 40 and 100 mg/L to 10.2, 18.6 and 52.2 mg/L with the percentage removal of 55, 53 and 50 % respectively after 24-hour incubation period. Meanwhile, the uptake of Mn by *B.cereus* decreased as increased the initial concentrations. Therefore, increasing the initial concentrations of Mn affected the biosorption of Mn by locally isolated *B.cereus*.

Keywords: *Bacillus cereus*; water pollution; water treatment technology; manganese; biosorption

PENGENALAN

Air merupakan sumber utama bagi benda hidup di atas muka bumi. Selain dijadikan sebagai minuman, manusia memerlukan air untuk kegunaan lain seperti membasuh, aktiviti pertanian, perindustrian, dan pengangkutan. Namun kini sumber air telah dicemari oleh pelbagai bahan cemar seperti bahan cemar organik dan bukan organik. Mangan merupakan pencemar bukan organik yang terdapat dalam pelbagai jenis bahan seperti tanah dan air sisa. Kehadiran Mn dalam air mendatangkan masalah serius terhadap loji rawatan air diseluruh dunia (Bryant et al. 2011). Kepekatan Mn dalam sistem bekalan air melebihi had piawai 0.05 mg/L (Teklerpoulou & Vayenas 2007) akan menyebabkan

kesan seperti mendakan air berwarna kemerahan dan coklat kehitaman yang terhasil apabila terdedah kepada udara, memberi rasa yang memualkan, dan juga diameter paip bagi sistem pengagihan air berkurangan akibat daripada pemendakan Mn yang berlaku. Selain itu, masalah yang lebih membimbangkan adalah Mn mampu memberi kesan terhadap sistem saraf manusia (Bryant et al. 2011). Walaupun tahap kandungan Mn dalam air terawat di Malaysia adalah rendah daripada had piawai yang telah ditetapkan iaitu di bawah 0.1 mg/L, namun dalam jangka masa yang lama kehadirannya boleh memberi masalah terhadap sistem agihan air minuman kerana berlakunya penumpukan dan termendak mangan oksida (Homoncik et al. 2010).

Kini terdapat pelbagai jenis teknologi rawatan yang boleh digunakan untuk menyingkirkan Mn iaitu teknologi kimia (proses pengoksidaan kimia, rawatan polifosfat, penurasan menggunakan pasir hijau dan proses pengudaraan) dan biologi (bioremediasi, dan biojerapan). Semasa proses teknologi kimia berlaku, pelbagai kelemahan yang wujud seperti penyingkiran tidak lengkap, reagen dan keperluan tenaga yang tinggi, penghasilan enapcemar berjadual serta bertoksik dan penghasilan bahan buangan lain yang memerlukan pelupusan terkawal telah menjadikannya proses yang memerlukan belanja tinggi (Ahalya et al. 2003). Penyelidikan bagi teknologi baru yang melibatkan penyingkiran logam toksik daripada air dan air sisa telah memberi perhatian kepada teknologi biojerapan berdasarkan kapasiti mengikat logam dari pelbagai jenis biopenjerap (Ahalya et al. 2003). Biojerapan boleh didefinisikan sebagai keupayaan hidupan biologi untuk mengumpul logam berat dari air melalui pengantara metabolisma atau melalui penyerapan fiziko-kimia (Volesky 1995) seperti yis, kulat, bakteria dan alga. Biojerapan juga merupakan satu proses yang berlaku secara semula jadi dalam biojisim tertentu yang mana berlaku dalam keadaan metabolisma pasif (Volesky et al. 1986).

Dalam kajian ini, kaedah penyingkiran yang digunakan adalah secara biologi iaitu proses biojerapan. Kajian keberkesanan penyerapan logam oleh biojisim mikrob adalah penting untuk penggunaan biojerapan dalam perindustrian, kerana ia memberikan maklumat mengenai keseimbangan proses yang diperlukan untuk reka bentuk peralatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses biojerapan adalah suhu, pH dan juga kepekatan biojisim (Ahalya et al. 2003). Suhu dalam lingkungan 20-35°C tidak mempengaruhi prestasi biojerapan (Aksu et al. 1992). pH merupakan parameter yang paling penting dalam proses biojerapan. Ia memberi kesan kepada larutan kimia daripada logam, aktiviti yang berfungsi dalam kumpulan biojisim dan persaingan yang berlaku antara ion logam (Galun et al. 1987; Friis et al. 1998).

Kepekatan biojisim di dalam larutan mempengaruhi pengambilan logam. Gadd et al. (1988) mencadangkan bahawa peningkatan dalam kepekatan biojisim akan membawa kepada gangguan di antara tapak pengikat logam. Manakala, peratus penyingkiran logam menurun jika kepekatan awal logam berat ditingkatkan (Amuda et al. 2007) yang mana kuantiti logam berat lebih banyak yang tidak dijerap dan terkandung dalam larutan. Malah telah disahkan bahawa hipotesis ini menyifatkan tentang penurunan pengambilan logam terhadap kekurangan kepekatan logam dalam larutan. Tujuan utama kajian ini adalah untuk mengkaji kesan kepekatan logam Mn terhadap kadar biojerapan oleh pencilan *B.cereus* tempatan. *B.cereus* tempatan dipencilkan daripada enapcemar teraktif kumbahan.

KAEDAH UJIKAJI

PENCILAN BACILLUS CEREUS

Pencilan bakteria *B.cereus* diperoleh daripada kajian terdahulu yang dijalankan oleh Hasan et. al. (2012). *B.cereus* yang dipencilkan daripada enapcemar kumbahan yang diperolehi dari loji rawatan kumbahan yang terletak di Putrajaya.

PENYEDIAAN LARUTAN MANGAN

Dalam kajian ini, logam $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (R&M Chemical, U.K) digunakan sebagai larutan stok Mn. Bagi penyediaan stok larutan mangan Mn, bahan kimia yang digunakan adalah mangan klorida, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$. Sebanyak 3.602 g $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ dilarutkan ke dalam 1000 mL air suling untuk mendapatkan larutan stok Mn dengan kepekatan 1000 mg/L.

UJIKAJI BIOJERAPAN MANGAN

Dalam proses biojerapan yang dijalankan, terdapat tiga jenis kepekatan larutan mangan yang dikaji iaitu 25, 40 dan 100 mg/L. Ujikaji kawalan juga dijalankan yang mana larutan mangan tidak dicampurkan dengan *B.cereus*. Uji kaji biojerapan Mn dijalankan menggunakan kelalang bersaiz 250 mL dengan isi padu operasi sebanyak 150 mL bagi setiap kepekatan. Kelalang yang sama telah disediakan bagi setiap kepekatan larutan mangan yang berbeza. Jumlah inokulum yang digunakan bagi setiap kepekatan adalah sebanyak 10% campuran larutan Mn dan inokulum *B.cereus* dieram goncang dalam pengeram (SI-100D, Malaysia) selama 48 jam pada suhu 37°C dan berkelajuan 150 rpm. Sepanjang proses pengeraman, sampel larutan diambil pada masa yang telah ditetapkan. Sampel digunakan untuk analisis OD, pH, CFU, biojisim dan kepekatan mangan.

UJIKAJI ANALISIS

KETUMPATAN OPTIK (OD)

Ketumpatan optik (OD) diukur dengan menggunakan Spektrofotometer (HACH DR 3800, USA).

UNIT PEMBENTUKAN KOLONI (CFU)

Unit pembentukan koloni (CFU) dijalankan dengan pembiakan *B.cereus* di atas nutrien agar. Air garam disediakan pada kepekatan 0.85% di dalam air suling tersteril. Garam yang digunakan adalah sodium klorida (R&M Chemicals, U.K). Pencairan sesiri 10^{-1} sehingga 10^{-7} dilakukan dalam penyediaan larutan untuk penentuan CFU. Sebanyak 9 mL air garam dimasukkan ke dalam setiap botol 'universal'. Kemudian, sebanyak 1 mL sampel biojisim dimasukkan ke dalam botol 'universal' yang pertama. Daripada botol yang pertama, sebanyak 1 mL dimasukkan ke dalam botol ke-dua dan seterusnya.

Seterusnya, sebanyak 100 μL dari setiap botol pencairan dititiskan ke atas piring nutrien agar, dan diratakan menggunakan penyebar sampel pada seluruh permukaan agar. Kemudian, sebaran larutan cairan atas plat agar dieram pada suhu 37 $^{\circ}\text{C}$ selama 48 jam. Selepas 48 jam pengeraman, pembentukan koloni bakteria di atas nutrien agar dikira bagi penentuan CFU.

$$\text{CFU} = \frac{N}{V} \times \frac{1}{P} \quad (1)$$

Pengiraan CFU dibuat dengan mengira nilai N iaitu jumlah koloni yang terdapat pada plat agar kemudian dibahagi dengan V iaitu jumlah isi padu sampel yang diratakan pada plat agar. Kemudian nilai tersebut dibahagikan dengan P iaitu nilai pencairan sesiri yang telah dibuat pada setiap sampel.

BIOJISIM

Kepekatan biojisim diukur dengan menggunakan kaedah gravimetrik. Sebanyak 20 mL sampel dituras menggunakan kertas turas membran selulosa nitrat bersaiz 0.45 μm dan berdiameter 47mm (Whatman, USA). Kemudian, sampel turasan dikeringkan pada suhu 105 $^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Selepas 24 jam, kertas turas disejukkan dan ditimbang dengan menggunakan penimbang elektronik (tt 220A, Switzerland). Kepekatan biojisim ditentukan melalui persamaan (2) berikut:

$$X = \frac{M_o - M_i}{V} \text{ (mg/L)} \quad (2)$$

Yang mana, X merupakan kepekatan biojisim (mg/L), M_i adalah berat kertas turas (mg) sahaja sebelum penurasan sampel, manakala M_o adalah berat kertas turas (mg) yang telah menjalani proses penurasan sampel serta dikeringkan pada suhu 104 $^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam dan V adalah jumlah isi padu (L) sampel yang dituras.

Penentuan kadar pertumbuhan *B.cereus* dikira untuk melihat kadar pertumbuhan bakteria melawan masa. Pengiraan kadar pertumbuhan dibuat melalui persamaan (3) berikut:

$$t R^2_{\text{Kepekatan}} = \text{Ln} \left[\frac{X_t}{X_0} \right] \quad (3)$$

Yang mana, R^2 (jam^{-1}) merupakan kadar pertumbuhan bakteria pada kepekatan tertentu, X_0 (mg/L) adalah kepekatan biojisim awal dan X_t (mg/L) adalah kepekatan biojisim pada masa tahanan, serta t (jam) adalah masa tahanan yang telah ditetapkan. Nilai $\text{Ln}(X_t/X_0)$ di plot melawan masa seperti dalam Rajah 3 yang mana nilai kecerunan bagi R^2 dikira bagi setiap kepekatan awal Mn untuk penentuan kadar pertumbuhan bakteria bagi setiap kepekatan awal Mn pada 25, 40 dan 100 mg/L.

pH

Meter pH (827 pH lab, Switzerland) digunakan bagi mengukur pH sepanjang tempoh kajian.

ANALISIS MANGAN

Sampel diemparkan pada kelajuan 5000 rpm selama 8 minit menggunakan pengempar (SI-100D, Malaysia), kemudian larutan supernatan dituras menggunakan kertas turas membran selulosa nitrat bersaiz 0.45 μm dan sampel turasan digunakan untuk analisis kandungan Mn. Kepekatan mangan diukur menggunakan Spektrofotometer Penyerap Atom (AAS 3300, United States) pada penyerapan 560 nm.

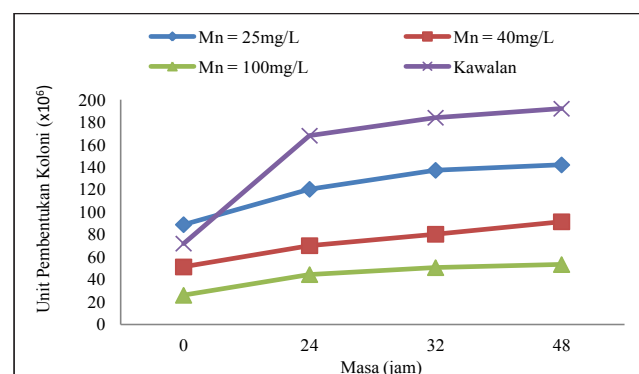
$$q_e = (C_0 - C_t) \left[\frac{V}{m} \right] \quad (4)$$

Persamaan (4) merupakan jalan pengiraan untuk memperolehi kadar biojerapan Mn bagi kepekatan awal Mn 25, 40 dan 100 mg/L. Yang mana C_0 (mg/L) merupakan kepekatan awal Mn, C_t (mg/L) pula merupakan kepekatan Mn pada masa tahanan dan t (jam) adalah masa tahanan. Manakala, V (L) merupakan jumlah isi padu larutan dan m (g) merupakan berat bagi biojisim yang digunakan dalam proses biojerapan Mn.

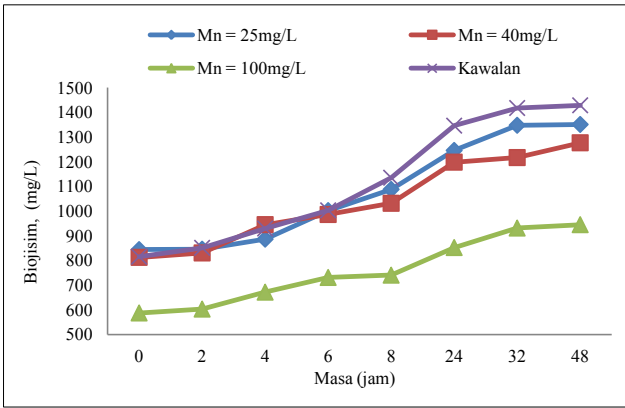
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KESAN KEPEKATAN MANGAN TERHADAP PERTUMBUHAN PENCILAN *B.CEREUS*

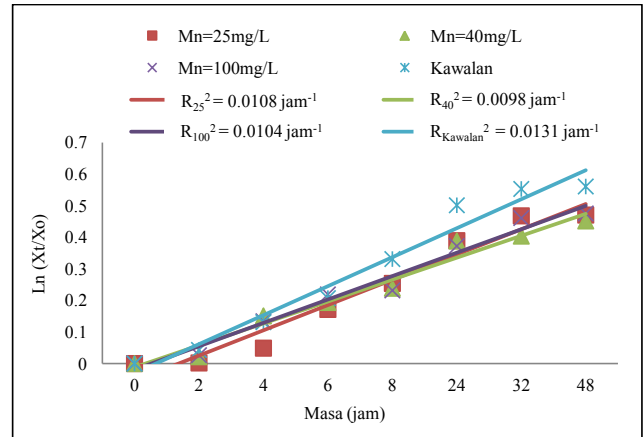
Seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1 apabila kepekatan mangan ditingkatkan, pembentukan koloni *B.cereus* pada nutrien agar semakin berkurang. Ini kerana pembiakan *B.cereus* terganggu apabila kepekatan mangan ditingkatkan yang mana menjadi toksik terhadap pertumbuhan *B. cereus*. Selepas 48 jam, jumlah koloni bagi sampel kawalan adalah sebanyak 192×10^6 CFU/mL, manakala jumlah koloni bagi sampel mangan berkepekatan 25, 40 dan 100 mg/L masing-masing adalah sebanyak 142×10^6 , 91×10^6 dan 53×10^6 CFU/mL. Begitu juga dengan pertumbuhan biojisim *B.cereus* (Rajah 2) yang mana kepekatan biojisim pada kepekatan 100 mg/L adalah lebih rendah berbanding pada kepekatan 25 dan 40 mg/L.



RAJAH 1. CFU melawan masa bagi kepekatan mangan yang berbeza



RAJAH 2. Biojisim *B.cereus* melawan masa bagi kepekatan mangan yang berbeza



RAJAH 3. Plot penentuan kadar pertumbuhan *B.cereus*

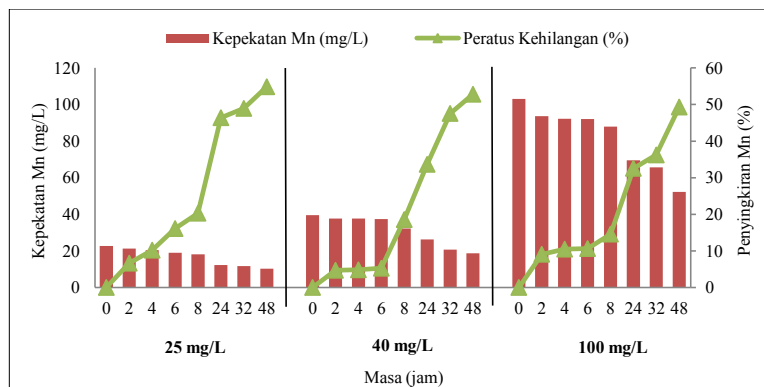
Berdasarkan Rajah 2, bilangan bakteria meningkat mengikut masa memandangkan proses biojerapan mangan dilakukan menggunakan larutan nutrien kaldu. Pertumbuhan bakteria lebih tinggi tanpa kehadiran Mn jika dibandingkan dengan pertumbuhan bakteria dengan kehadiran Mn. Tetapi nilai kepekatan biojisim bagi mangan yang berkepekatan 100 mg/L mempunyai nilai yang jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan mangan yang berkepekatan lebih rendah. Ini kerana, kehadiran kepekatan Mn yang lebih tinggi mendatangkan ketoksikan kepada bakteria, yang mana ia mampu menjejaskan pertumbuhan bakteria. Berdasarkan Rajah 3, kadar pertumbuhan *B.cereus* bagi sampel kawalan adalah sebanyak 0.0170 jam⁻¹ manakala kadar pertumbuhan bagi sampel mangan berkepekatan 25, 40 dan 100 mg/L pula masing-masing adalah 0.0160, 0.0161 dan 0.0145 jam⁻¹. Ini mengesahkan lagi bahawa semakin tinggi kepekatan mangan, kadar pertumbuhan *B.cereus* semakin perlahan dan terganggu.

8, bakteria *B. cereus* mengalami fasa lag dimana bakteria membiak secara perlahan-lahan, manakala bermula jam yang ke-8 hingga ke-24, bakteria berada dalam fasa eksponen dimana bakteria mula membiak secara cepat dan aktif. Oleh sebab itu, proses biojerapan pada jam ke-0 hingga jam ke-8 mengalami peratus kehilangan yang rendah iaitu tidak lebih dari 40%, kerana bilangan bakteria yang sedikit hanya mampu menjerap sedikit jumlah mangan di dalam larutan. Manakala peratus kehilangan pada jam ke-24 meningkat dengan mendadak iaitu 47% peningkatan bagi Mn berkepekatan 25 mg/L, 34% peningkatan bagi Mn berkepekatan 40mg/L dan 33% peningkatan bagi Mn berkepekatan 100 mg/L. Ini kerana bilangan bakteria yang semakin banyak mampu menjerap sebahagian besar jumlah mangan didalam larutan.

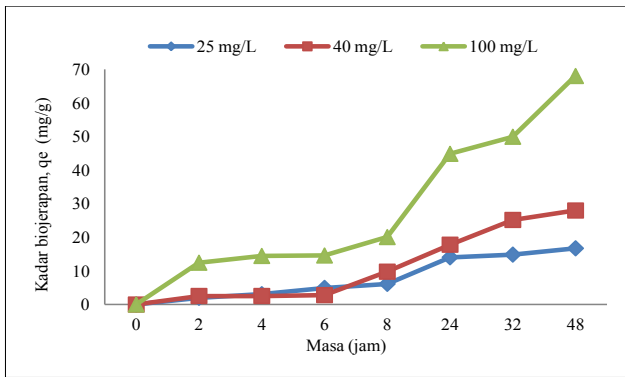
PENYINGKIRAN MANGAN OLEH *B.CEREUS*

Berdasarkan Rajah 4, kepekatan mangan dalam larutan serta peratus penyingkiran mangan di plot melawan masa. Yang mana, ujikaji biojerapan Mn bagi kepekatan mangan 25, 40 dan 100 mg/L bermula jam yang ke-0 hingga jam ke-

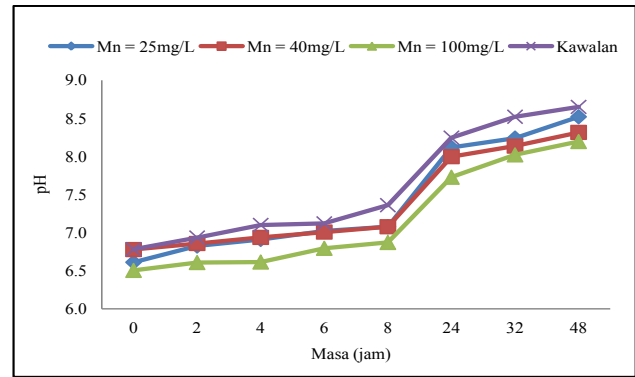
Berdasarkan Rajah 5, kadar biojerapan Mn pada ketiga-tiga kepekatan semakin meningkat mengikut masa yang mana semakin tinggi kepekatan Mn semakin tinggi kadar biojerapan Mn. Ini kerana semakin banyak kuantiti Mn yang hadir, semakin banyak Mn yang terjerap pada sel *B.cereus*. Berdasarkan Jadual 1, penggunaan jenis biojisim yang berbeza serta nilai pH yang berbeza mempengaruhi peratus penyingkiran Mangan. Dibandingkan dengan kajian yang terdahulu, peratus penyingkiran Mn meningkat dengan kepekatan Mn yang meningkat yang mana biojisim bagi cengkeram ketam menyingkirkan Mn sebanyak 59%



RAJAH 4. Peratusan penyingkiran Mn pada kepekatan 25, 40 dan 100 mg/L



RAJAH 5. Kadar biojerapan Mn pada kepekatan 25, 40 dan 100 mg/L



RAJAH 6. pH melawan masa pada kepekatan 25, 40 dan 100 mg/L

iaitu 295 mg/L Mn daripada kepekatan Mn awal 500 mg/L, yang mana ia menyingkirkan kuantiti Mn yang paling tinggi berbanding biojisim lain. Seterusnya, *Trichoderma Asperellum* BHU216 dengan 76% penyingkiran Mn iaitu 76 mg/L Mn disingkirkan dari 100 mg/L kepekatan awal Mn. Manakala *Bacillus cereus* pula dengan 50% penyingkiran Mn, yang mana 50 mg/L kepekatan Mn disingkirkan dari 100 mg/L kepekatan awal Mn. *Agrobacterium tumefaciens* menyingkirkan kuantiti Mn yang paling rendah dengan 85% penyingkiran Mn iaitu hanya 0.255 mg/L sahaja yang disingkirkan dari 0.3 kepekatan awal Mn. Melalui perbandingan yang dibuat, *Bacillus cereus* mampu menyingkirkan separuh dari nilai kepekatan awal Mn yang terdapat dalam larutan dan masih boleh diterima untuk digunakan sebagai biojisim yang mampu menyingkirkan Mn pada kepekatan yang tinggi. Oleh kerana *Bacillus cereus* merupakan bakteria yang mudah di peroleh di mana-

mana malah mudah di jaga serta ciri-ciri bakteria yang mudah membiak pada suhu bilik, ia sesuai diaplikasikan dalam proses yang berjalan pada suhu bilik.

Nilai pH dalam larutan merupakan salah satu kesan faktor persekitaran yang paling penting dalam proses biojerapan. Berdasarkan Jadual 1, nilai pH bagi kajian terdahulu adalah pada 5 hingga 8 yang mana bacaan pH bagi kajian ini pula adalah pada julat 6.5 hingga 8.6 bagi kepekatan 25, 40 dan 100 mg/L. Ini kerana berlakunya pertumbuhan bakteria sepanjang proses biojerapan berjalan yang mana nilai pH semakin meningkat dengan meningkatnya kadar jerapan Mn. Peratus penyingkiran Mn pada kepekatan awal 100 mg/L adalah yang paling tinggi iaitu pada nilai pH 8.2. Bacaan pH bagi ketiga-tiga kepekatan Mn berada dalam keadaan natural dan tidak menunjukkan sebarang peningkatan yang ketara.

JADUAL 1. Perbandingan kadar penyerapan Mn (%) dengan kajian terdahulu

Kepekatan Mn (mg/L)	Jenis Biojisim	pH	Penyingkiran / kadar penyerapan (%)	Rujukan
500	Cengkeram ketam	6	59	Vijayaraghavan et al. (2011)
100	<i>Trichoderma Asperellum</i> BHU216	5	76	Kareem et al. (2014)
0.3	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	8	85	Sitki Baytak et al. (2004)
100	<i>Bacillus cereus</i>	8.2	50	Kajian ini (2015)

KESIMPULAN

Sebagai kesimpulannya, semakin tinggi kepekatan Mn, kadar pertumbuhan *B.cereus* semakin perlahan dengan kadar pertumbuhan sebanyak 0.0160, 0.0161, 0.0145 jam⁻¹ bagi sampel mangan masing-masing berkepekatan 25, 40 dan 100 mg/L. Manakala, kadar pengambilan Mn semakin meningkat apabila kepekatan Mn ditingkatkan daripada 25 mg/L kepada 40 dan 100 mg/L disebabkan oleh peningkatan ion Mn yang terdapat dalam larutan. Selain itu, peningkatan kepekatan Mn juga mempengaruhi ke atas bilangan koloni sel *B.cereus* dengan semakin meningkat kepekatan Mn, bilangan koloni semakin menurun akibat terganggunya pertumbuhan *B.cereus*.

RUJUKAN

- Ahalya, N., Ramachandra, T.V. & Kanamadi, R.D. 2003. Biosorption of heavy metals. *Journal of Chemistry and Environment* 7(4): 1-9.
- Aksu, Z. et al. 1992. The biosorption of copper (II) by *C. vulgaris* and *Zramigera*. *Environment Technology* 13: 579-586.
- Amuda, O.S., Giwa. A.A. & Bello. I.A. 2007. Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon. *Biochemical Engineering Journal* 36: 174-181.
- Bryant, L.D., Kim, H.S., Gantzer, P.A. & Little, J.C. 2011. Solving the problem at the source: Controlling Mn release at the sediment-water interface via hypolimnetic oxygenation. *Water Research* 45: 6381-6392.
- Friis, N. et al., 1998. Biosorption of uranium and lead by *Streptomyces longwoodensis*. *Biotechnology Bioengineering* 28:21-28.
- Gadd, G.M. et al., 1988. Heavy metal and radionuclide by fungi and yeasts. Dlm: Norris, P.R. & Kelly, D.P. (pnyt). *Biohydrometallurgy*. Wilts. United Kingdom: A. Rowe, Chippenham
- Galun, M. et. al., 1987. Removal of metal ions from aqueous solutions by *Pencillium* biomass. *Kinetic and uptake parameters, Water, Air and Soil Pollution* 33:359-371.
- Hasan, H.A., Abdullah, S.R.S., Kofli, N.T. & Kamaruddin, S.K. 2010. Biosorption of Manganese in Drinking Water by Isolated Bacteria. *Journal of Applied Science* 10: 2653-2657.
- Hasan, H.A., Abdullah, S.R.S., Kofli, N.T. & Kamaruddin, S.K. 2012. Effective microbes for simultaneous bio-oxidation of ammonia and manganese in biological aerated filter system. *Bioresource Technology* 124: 355-363.
- Homoncik, S.C., MacDonald, A.M., Heal, K.V., Dochartaigh, B.E.O. & Ngwenya, B.T. 2010. Manganese concentrations in Scottish Groundwater. *Science of the Total Environment* 408: 2467-2473.
- Kareem, S.O., Omeike, S.O., Balogun, S.A. & Adewuyi, S. 2014. Biosorption of manganese (II) and aluminium (III) ions from aqueous solution by immobilized *Trichoderma Asperellum* BHU216. *Global NEST Journal* 16(1): 160-168.
- Sitki Baytak & Rehber, A.T. 2004. The use of *Agrobacterium tumefaciens* immobilized on Amberlite XAD-4 a new biosorbent for the column preconcentration of iron(III), cobalt(II), manganese(II) and chromium (III). *Talanta* 65: 938-945.
- Tekerlepoulou, A.G. & Vayenas, D.V. 2007. Ammonia, iron and manganese removal from potable water using trickling filters. *Desalination* 210: 225-235.
- Vijayaraghavan, K., Winnie, H.Y.N, & Balasubramanian, R. 2011. Biosorption characteristics of crab shell particles for the removal of manganese(II) and zinc(II) from aqueous solutions. *Desalination* 266: 195-200.
- Volesky, B. & May-Philips, H.A. 1995. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*. *Microbiology Biotechnology* 42: 797-806.
- Fathiyyah Mohd Zainudin
Hassimi Abu Hasan*
Siti Rozaimah Sheikh Abdullah
Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi
Selangor, Malaysia

*Penulis koresponden: emel: fathiyyah19@gmail.com, hassimi@ukm.edu.my

Tarikh serahan: 30 Mac 2015
Tarikh terima: 13 Oktober 2015