

## Kesan Penyusupan dan Aliran Masuk terhadap Kekuatan Air Sisa Kumbahan Perbandaran

(The Effect of Inflow and Infiltration on the Strength of Municipal Wastewater)

Nur Aina Bachi<sup>a</sup>, Syarifah Amirah Huda Syed Mohd Fuat<sup>a</sup>, Huzaiifah Ahmad Hisam<sup>a</sup>, Zarimah M Hanafiah<sup>a</sup>, Ibrahiem Al-Ani<sup>b</sup>, Lavaniya Panirselvam<sup>a</sup>, M Zuraimi Abdullah<sup>a</sup>, Nor Azura Abdullah<sup>a</sup> & Wan Hanna Melini Wan Mohtar<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia  
<sup>b</sup>National Center for Water Resources Management, Ministry of Water Resources, Iraq

\*Corresponding author: hanna@ukm.edu.my

Received 01 March 2021, Received in revised form 03 May 2021  
Accepted 05 June 2021, Available online 30 November 2021

### ABSTRAK

Aliran masuk dan penyusupan adalah fenomena yang sering berlaku dalam sistem pembetungan di negara kita. Hal ini kerana faktor cuaca dan taburan hujan yang tinggi di Malaysia. Oleh itu, kadar penyusupan juga dijangkakan tinggi melalui lurang. Tujuan kajian ini untuk mengenal pasti kesan penyusupan dan aliran masuk ke atas kekuatan air sisa dari kawasan perbandaran dengan populasi penduduk seramai 1000 PE. Pemodelan menggunakan perisian Storm Water Management Model (SWMM) digunakan bagi menentukan kadar penyusupan dan aliran masuk air hujan ke dalam pembetung serta kadar pereputan beban pencemar seperti Permintaan Oksigen Kimia (COD) dan Ammonia (NH<sub>3</sub>) dalam satu sistem pembetung melibatkan 17 lurang. Keputusan yang terhasil dalam pemodelan ini ialah kadar penyusupan bagi setiap kawasan tadahan dan kadar pereputan terhadap jumlah beban pencemar. Bagi kadar penyusupan pula, kawasan tadahan dibahagikan kepada tiga iaitu S1, S2 dan S3, di mana S1 mengandungi jumlah penyusupan yang paling rendah berbanding S2 dan S3 iaitu sebanyak 1.27 mm/j bagi 10%, 1.36 mm/j bagi 15% dan 1.45 mm/j bagi 20%. Selain itu, jumlah beban pencemar yang terhasil untuk tempoh 12 jam simulasi dijalankan bagi COD ialah 160-180 kg dengan jumlah pereputan yang berlaku sekitar 0.10-0.29% manakala Ammonia pula menghasilkan beban pencemar sebanyak 140-160 kg dengan kadar pereputan yang konsisten dan tidak memberi pengurangan yang banyak kepada Ammonia. Hasil kajian menunjukkan penyusupan yang berlaku tidak mempengaruhi halaju air sisa tetapi memberi kesan kepada kekuatan air sisa yang mana boleh menyebabkan kepekatan air sisa berkurang.

Kata kunci: Aliran masuk; penyusupan; pemodelan SWMM; kekuatan air sisa; kadar pereputan

### ABSTRACT

Inflows and infiltrations are a common phenomenon in the sewerage system in our country. This is due to weather factors and high rainfall distribution in Malaysia. Therefore, infiltration rates are also expected to be high through manholes. The purpose of this study is to identify the effects of infiltration and inflow on wastewater strength from municipal areas with a population of 1000 PE. Modeling using the Storm Water Management Model (SWMM) software is used to determine the rate of infiltration and inflow of rainwater into sewers as well as the rate of decay of pollutant loads such as Chemical Oxygen Demand (COD) and Ammonia (NH<sub>3</sub>) in a sewer system involving 17 manholes. The results in this modeling are the infiltration rate for each catchment area and the decay rate of the total pollutant load. As for the infiltration rate, the catchment area is divided into three, namely S1, S2 and S3, where S1 contains the lowest amount of infiltration compared to S2 and S3 which is 1.27 mm/h for 10%, 1.36 mm/h for 15% and 1.45 mm/h for 20%. In addition, the total pollutant load produced for the 12 hours of simulation conducted for COD is 160-180 kg with a total decay occurring around 0.10-0.29% while Ammonia produces a pollutant load of 140-160 kg with a consistent decay rate and does not give substantial reduction to Ammonia. The results show that the infiltration that occurs does

*not affect the velocity of wastewater but affects the strength of wastewater which can cause the concentration of wastewater to decrease.*

*Keywords: Inflow; infiltration; SWMM modeling; strength of wastewater; decay rate*

## PENGENALAN

Sistem pembetungan merupakan salah satu sistem yang digunakan untuk pengumpulan air sisa atau kumbahan dari komuniti ke loji rawatan air sisa. Butler dan Davis (2010) menyatakan bahawa pembetung adalah komponen infrastruktur bandar yang penting dalam membantu menjaga persekitaran bandar supaya selamat daripada banjir dan menghalang penyebaran penyakit bawaan air. Sistem ini juga memastikan air sisa dibawa dengan selamat dan sistematik ke loji rawatan air sisa. Polisi pengurusan kumbahan menekankan kepada pembinaan sistem pembetungan yang lengkap dan moden terutamanya di kawasan bandar yang relatifnya mempunyai penduduk yang ramai (Abdullah 2016). Di Malaysia, sistem pembetungan berasingan digunakan (Yap et al. 2016) dan direka bentuk merujuk kepada Garis Panduan Industri Pembetungan Malaysia (MSIG).

Menurut Swamee (2001), sistem pembetungan perlu direka bentuk dengan betul bagi menghasilkan aliran yang optimum untuk mengelakkan limpahan dari paip pembetung dan juga lurang. Kapasiti saluran paip pembetung mungkin terjejas sekiranya aliran kumbahan pada waktu puncak tidak ditangani dengan betul semasa proses reka bentuk sistem pembetungan. Aliran masuk dan penyusupan adalah fenomena yang sering berlaku dalam sistem pembetungan. Penyusupan yang berlaku mampu menjejaskan kecekapan loji rawatan kumbahan (Cardoso et al. 2006).

Pelbagai faktor yang mempengaruhi aliran masuk dan penyusupan dalam saluran pembetung. Antaranya adalah struktur reka bentuk paip pembetung yang terdedah seperti garis pusat dan panjang saluran, kekuatan saluran, alas tanah saluran (*bedding*), keadaan paip pembetung yang retak dan porous, cara penyambungan paip pembetung yang tidak betul, faktor hujan lebat dan air larian permukaan yang tinggi serta keadaan tanah di mana paras air bumi berbanding paras paip pembetung (Norhan et al. 2003).

Selain aliran masuk dan penyusupan, kadar pereputan beban pencemar seperti Permintaan Oksigen Kimia (COD) dan Ammonia di dalam pembetung juga perlu diberi perhatian. Menurut Portal IWK, Ammonia Nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) adalah salah satu parameter kualiti air yang sangat penting kerana bersifat toksik bagi hidupan akuatik kesan dari pelepasan air kumbahan dan bahan-bahan kimia bertoksik daripada pelbagai industri. Ammonia dapat dioksidakan apabila terdapat kehadiran oksigen dan bertindak balas menjadi Nitrogen Nitrat (NO<sub>3</sub>-N). Oleh itu,

kadar pereputan bagi Ammonia penting bagi pemodelan kualiti air termasuk kualiti air sungai kerana kesannya boleh mempengaruhi oksigen terlarut (DO) dan kepekatan NO<sub>3</sub>-N dalam sungai. Bakteria autotrofik aerobik seperti Nitrosomonas (pengoksidaan ammonia) dan Nitrobacter (pengoksidaan nitrit) bertanggungjawab dalam proses pereputan ammonia (Raudkivi et al. 2017). Berdasarkan kajian Nuruzzaman et al. (2017), kadar pereputan Ammonia bagi persekitaran tropika seperti Malaysia dilihat antara 0.194/hari dan 0.554/hari. Nilai median kadar pereputan bagi Ammonia pula adalah 0.26/hari sedikit rendah berbanding nilai median global iaitu 0.295/hari.

Tujuan kajian ini dijalankan untuk mengenal pasti kesan penyusupan dan aliran masuk ke atas kekuatan air sisa yang diukur melalui parameter COD dan Ammonia. Selain itu, kajian ini juga untuk mengenal pasti kesan pereputan beban pencemar di dalam pembetung. Pemodelan menggunakan perisian SWMM digunakan bagi menentukan kadar penyusupan dan aliran masuk air hujan ke dalam pembetung dan kadar pereputan beban pencemar di dalam pembetung.

## METODOLOGI KAJIAN

Kajian ini dapat dibahagikan kepada dua aspek iaitu pengumpulan data daripada kerja lapangan dan pemodelan menggunakan perisian SWMM. Kerja lapangan di tapak melibatkan pengumpulan sampel dari lurang pembetung bagi analisis kualiti air sisa. Selain itu, suhu air sisa (*T<sub>w</sub>*) juga direkodkan di kawasan kajian menggunakan termometer. Air sisa yang diambil disimpan di dalam botol sampel dan analisis dilakukan dengan segera melibatkan uji kaji Permintaan Oksigen Kimia (COD) dan Ammonia Nitrogen (NH<sub>3</sub>-N). Kedua-dua aspek ini digunakan untuk mereka bentuk sistem pembetungan kawasan kediaman yang dicadangkan menggunakan model EPA SWMM.

Kawasan Kajian: Kawasan kajian yang dipilih bagi mereka bentuk menggunakan perisian SWMM ialah Puchong Utama. Jenis pembangunan di kawasan ini meliputi perumahan dan komersial dengan populasi setara penduduk (PE) seramai 1000.

### PEMODELAN MENGGUNAKAN PERISIAN SWMM

Bagi perisian ini, pelan tapak dimasukkan ke dalam perisian serta digunakan untuk membentuk kawasan kajian.



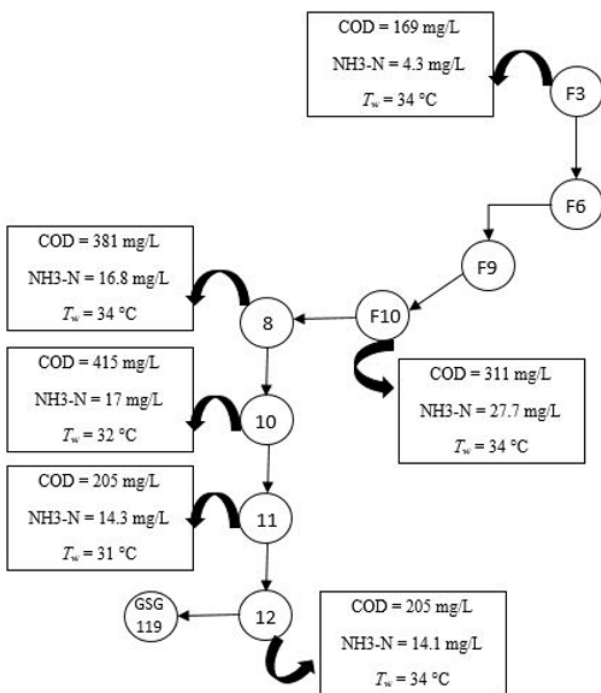
JADUAL 1. Formula bagi pengiraan manual

Perkara	Formula
Keluasan Paip	$A = \frac{\pi D^2}{4}$
Perimeter Basah	$P = \pi D$
Jejari Hidraulik	$R = \frac{A}{P}$
Halaju Air Sisa	$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KUALITI AIR SISA DI KAWASAN KAJIAN

Di kawasan kajian, beberapa persampelan telah dibuat sepanjang kawasan perumahan. Rajah 2 menunjukkan data-data yang diperolehi dari kerja lapangan di kawasan kajian.



RAJAH 2. Hasil dapatan kepekatan COD, Ammonia dan suhu bagi lurang tertentu di kawasan kajian

Berdasarkan keputusan di atas, purata kepekatan bagi COD adalah 300 – 500 mg/L. Keputusan ini menunjukkan kepekatan air sisa menghampiri nilai reka bentuk influen yang ditetapkan iaitu 500 mg/L. Namun, nilai COD pada lurang 12 sedikit rendah kerana terdapat kemasukan saluran longkang air rebus yang dipasang secara haram. Bagi kepekatan ammonia pula, kebanyakan lurang pembetung mempunyai kepekatan yang rendah berbanding nilai

kepekatan yang dibenarkan untuk memasuki loji rawatan kumbahan (STP) iaitu sebanyak 30 mg/L. Faktor pencairan memberi kesan kepada pengurangan jumlah kepekatan air sisa kumbahan dan menyebabkan air sisa tidak dapat dirawat dengan berkesan.

HASIL SIMULASI MODEL MENGGUNAKAN SWMM

Pengesahan Model: Bagi mengesahkan nilai yang diperolehi daripada simulasi ini, perbandingan nilai antara pengiraan manual dan simulasi SWMM dilakukan. Pengiraan manual bagi mendapatkan halaju adalah berdasarkan kaedah pengesahan model seperti yang dinyatakan dalam metodologi. Keadaan yang digunakan bagi menguji model yang dijana ialah keadaan aliran ketika cuaca kering yang mana tidak ada gangguan daripada faktor luar seperti hujan ribut.

JADUAL 2. Perbandingan nilai halaju manual dan model

No. Lurang	Halaju Manual (m/s)	Halaju Model (m/s)	Perbezaan (%)
1	1.18	1.27	7.1
2	1.26	1.31	3.8
3	1.18	1.27	7.1
4	1.31	1.33	1.5
5	1.40	1.52	7.9
6	1.50	1.24	20.9
7	1.67	1.88	11.2
8	1.63	1.46	11.6
9	2.67	2.94	9.2
10	0.42	0.37	13.5
11	0.46	0.51	9.8
12	0.46	0.52	11.5
13	0.56	0.53	5.7
14	0.54	0.56	3.6
15	0.54	0.51	5.9
16	0.52	0.51	1.9
17	0.62	0.66	6.1

Keputusan yang diperolehi menunjukkan konsistensi antara nilai pengiraan manual dan nilai dari model. Nilai ralat yang paling tinggi ialah pada lurang 6 iaitu sebanyak 20.9%. Lurang 6 terletak di jalan besar yang menerima air sisa dari kawasan perumahan. Nilai halaju dijana pada model sedikit rendah berbanding nilai pengiraan manual. Hal ini mempengaruhi konsistensi nilai halaju yang dijana pada model. Secara umumnya, nilai perbezaan yang diperolehi untuk lurang-lurang yang lain adalah antara julat 1-20%.

## KESAN PENYUSUPAN DAN ALIRAN MASUK (I/I) KE ATAS AIR SISA



RAJAH 3. Hasil simulasi bagi kawasan tadahan, persimpangan dan perpaipan sistem pembetulan di kawasan kajian

Hasil simulasi pada Rajah 3 menunjukkan setiap kawasan tadahan mempunyai kadar penyusupan yang tinggi apabila berlakunya hujan. Ini dapat dilihat dengan perubahan warna merah pada kawasan tadahan S1, S2 dan S3. Perubahan warna ini menunjukkan kadar penyusupan melebihi 0.50 mm/jam bagi kawasan tadahan. Bagi perpaipan pula, sistem perpaipan berubah menjadi merah apabila kapasiti paip mencecah 90% manakala persimpangan paip pula berubah menjadi merah apabila berlakunya limpahan pada lurang pembetulan.

Jadual 3 pula menunjukkan jumlah I/I bagi setiap kawasan tadahan iaitu S1, S2 dan S3 yang memasuki sistem menggunakan perisian SWMM. Kawasan tadahan S1 menunjukkan jumlah I/I paling rendah berbanding S2 dan S3 bagi ketiga-tiga peratusan penyusupan. Ini kerana kawasan tadahan S1 lebih kecil berbanding dua lagi kawasan tadahan. Hal ini juga dapat dikaitkan dengan kajian yang

dijalankan oleh Rahman et al. (2003) yang menyatakan kadar penyusupan berkait rapat dengan nilai kadar aliran masuk air,  $Q$ . Berdasarkan nilai kadar aliran masuk, nilai bagi kawasan tadahan S2 dan S3 lebih tinggi berbanding S1. Penyusupan juga lebih cenderung berlaku jika kadar aliran pada kawasan hulu adalah lebih rendah daripada kawasan hilir ( $Q_{out} > Q_{in}$ ). Aliran masuk dan penyusupan (I/I) adalah proses yang berkait dan secara langsung boleh mempengaruhi prestasi pembetulan dan loji rawatan serta kualiti air sehingga secara tidak langsung mempengaruhi penggunaan air tadahan secara keseluruhan (J Bryan 2001).

Rajah 4 menunjukkan kadar aliran masuk yang berlaku pada lurang 1, 4 dan 7 untuk setiap jam selama 12 jam. Kadar aliran masuk ini dipengaruhi oleh jumlah penyusupan yang berlaku. Keputusan ini secara jelasnya dapat menunjukkan data aliran waktu puncak yang berlaku serta bagaimana aliran terkumpul melalui sistem pembetulan.

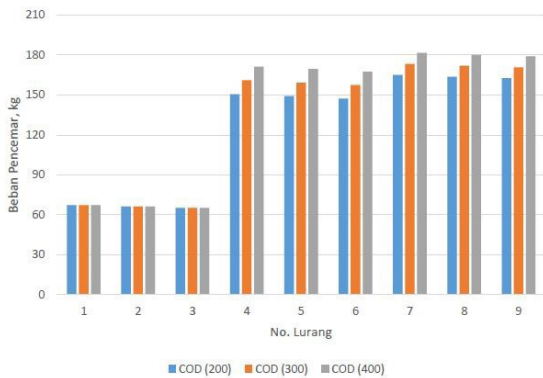


RAJAH 4. Jumlah kemasukan aliran air dari kawasan perumahan

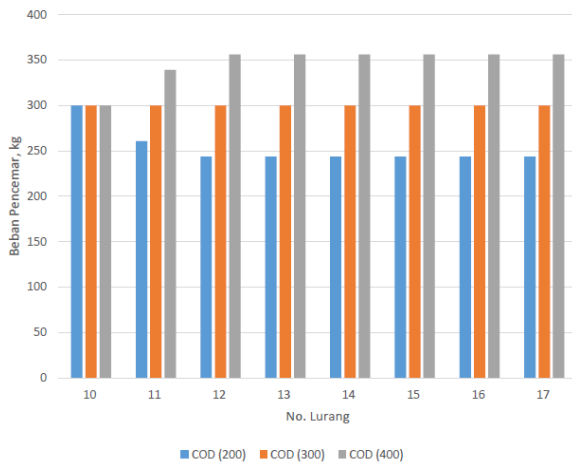
JADUAL 3. Hasil simulasi peratusan I/I dalam sistem pembetulan

Kawasan Tadahan	Jumlah Penyusupan, I/I (mm/j)		
	10%	15%	20%
S1	1.27	1.36	1.45
S2	1.85	1.99	2.12
S3	1.86	2.00	2.14

PENINGKATAN JUMLAH BEBAN PENCEMAR COD



(a)



(b)

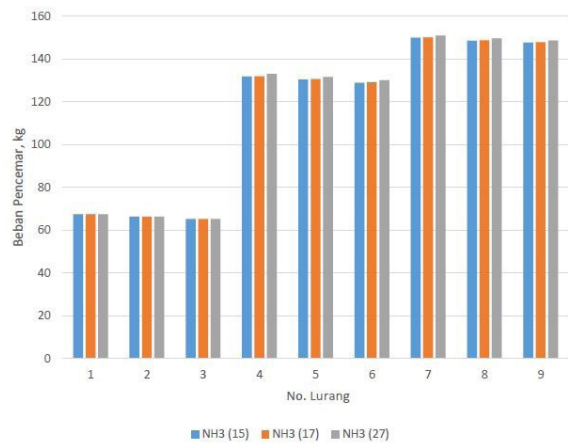
RAJAH 5. (a) Peningkatan jumlah beban COD mengikut kepekatan pada lurang 1 hingga 9, (b) Peningkatan jumlah beban COD mengikut kepekatan pada lurang 10 hingga 17

Berdasarkan Rajah 5(a), lurang 1 hingga lurang 3 bagi setiap beban pencemar mengalami sedikit perubahan dengan purata sebanyak 66 kilogram. Sebaliknya bagi lurang 4 hingga lurang 9 mengalami peningkatan yang sangat ketara iaitu sebanyak 54% dan mencecah sehingga 180 kilogram bagi beban pencemar COD yang berkepekatan 400 mg/L. Hal ini kerana lurang 4 menerima kemasukan aliran masuk dari lurang 17. Sepanjang lurang 4 hingga lurang 9, kepekatan COD (400) menghasilkan beban pencemar lebih banyak berbanding COD (200) dan COD (300). Hal ini disebabkan oleh peningkatan

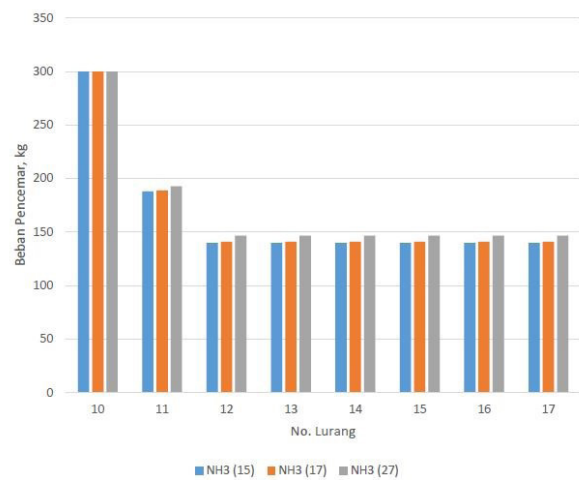
jumlah beban pencemar ke arah loji rawatan air sisa.

Rajah 5(b) pula menunjukkan kepekatan COD (200) yang ditetapkan dalam simulasi mengalami penurunan yang konsisten pada lurang 10 hingga lurang 17. Hal ini dapat dikaitkan dengan proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang berlaku disebabkan pelbagai mikroorganisma seperti Nitrosomonas, Nitrisococcus dan Nitrobacter melakukan proses nitrifikasi di bawah kepekatan oksigen yang tinggi (Anupma 2020). Namun begitu untuk kepekatan COD (300), jarak paip yang pendek menyebabkan penurunan ketara tidak dapat dilihat sepanjang lurang 10 hingga 17. Peningkatan beban pencemar yang berlaku sebanyak 12.5% hanya bagi kepekatan COD (400) yang hampir mencecah 360 kilogram. Hasil simulasi ini menjangkakan air sisa bakal menghasilkan beban pencemar yang banyak berdasarkan kepekatan COD yang tinggi.

PENINGKATAN JUMLAH BEBAN PENCEMAR AMMONIA (NH3)



(a)



(a)

RAJAH 6. (a) Peningkatan jumlah beban Ammonia mengikut kepekatan pada lurang 1 hingga 9, (b) Peningkatan jumlah beban Ammonia mengikut kepekatan pada lurang 10 hingga 17

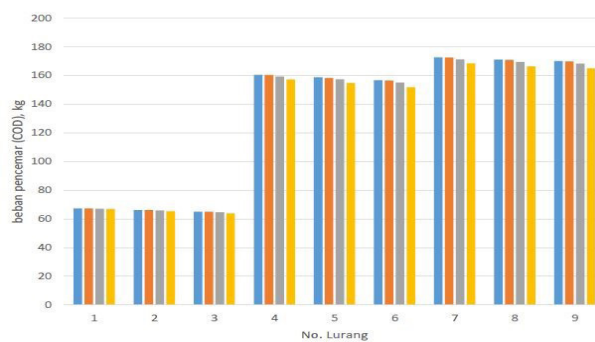


Berdasarkan Rajah 6(a), lurang 1 hingga lurang 3 menunjukkan ammonia yang terhasil berpurata sebanyak 67.36 kilogram dan semakin meningkat menerusi lurang 4 hingga lurang 9. Selain itu, ammonia yang berkepekatan sebanyak 27 mg/L sepanjang lurang 4 hingga lurang 6 mengandungi jumlah beban yang lebih sedikit berbanding kepekatan ammonia yang lain. Bagi lurang 7 hingga lurang 9 pula peningkatan jumlah beban pencemar hampir mencecah 150 kilogram bagi setiap kepekatan ammonia yang ditetapkan.

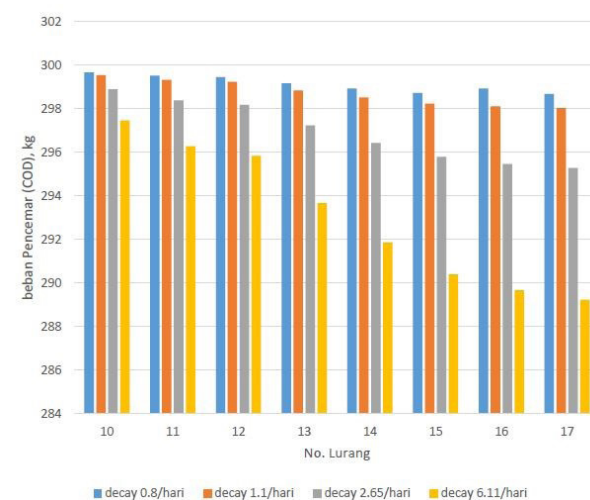
Lurang 10 menghasilkan beban pencemar yang sama iaitu sebanyak 300 kilogram bagi ketiga-tiga kepekatan ammonia seperti yang ditunjukkan pada Rajah 6(b). Sepanjang lurang 10 hingga lurang 17, dapat dilihat beban pencemar pada lurang 11 mengalami penurunan yang ketara dan semakin berkurang apabila melalui lurang 12 manakala bagi lurang 13 hingga ke lurang 17 mengalami pengurangan yang konsisten bagi setiap jumlah kepekatan ammonia. Jadi, hasil simulasi bagi ammonia ini dapat dinyatakan bahawa pengurangan terhadap beban pencemar pada lurang 10 hingga lurang 17 berpunca dari penyusupan air bawah tanah ke dalam pembetung serta dari permukaan penutup lurang. Hal ini dapat dikaitkan dengan kajian dari Lawrence dan Marc (2017) yang menyatakan perubahan ciri-ciri kualiti air sisa disebabkan oleh faktor seperti penyusupan air bawah, air hujan serta kebocoran paip air.

#### KADAR PEREPUTAN BEBAN PENCEMAR TERHADAP COD

Berdasarkan Rajah 7(a), jumlah pereputan bagi beban pencemar hanyalah sekitar 0.10 – 0.29% antara nilai sebenar dengan nilai pekali kadar pereputan COD. Pada lurang 1 hingga lurang 3, dapat dilihat pekali pereputan 6.11/hari menunjukkan jumlah pereputan paling sedikit bagi beban pencemar setiap lurang berbanding pekali pereputan yang lain. Jumlah pereputan beban pencemar dalam ketiga-tiga lurang tersebut berpurata 65.38 kilogram. Selain itu, peningkatan yang ketara berlaku pada lurang 4 iaitu sebanyak 60% yang berjumlah 160.52 kilogram bagi kadar pereputan 0.80/hari. Bagi lurang 10 hingga lurang 17 pula terdapat perbezaan yang ketara bagi kadar pereputan berbanding lurang 1 hingga lurang 9. Bryan (2001) menyatakan kadar pereputan dalam aliran pembetung (disebabkan oleh aliran masuk) lebih cepat. Kadar pereputan 6.11/hari berdasarkan kajian lepas oleh Marcos (2013) mampu mengurangkan beban pencemar yang lebih banyak berbanding kadar pereputan lain yang hanya mengalami pengurangan jumlah beban pencemar sebanyak 35% sahaja. Oleh itu, lurang 17 akan menghasilkan jumlah pereputan yang efektif terhadap lurang 4 supaya pada pengakhiran sistem pembetung ini mencapai kepekatan air sisa menghampiri nilai reka bentuk influen iaitu 500 mg/L.



(a)



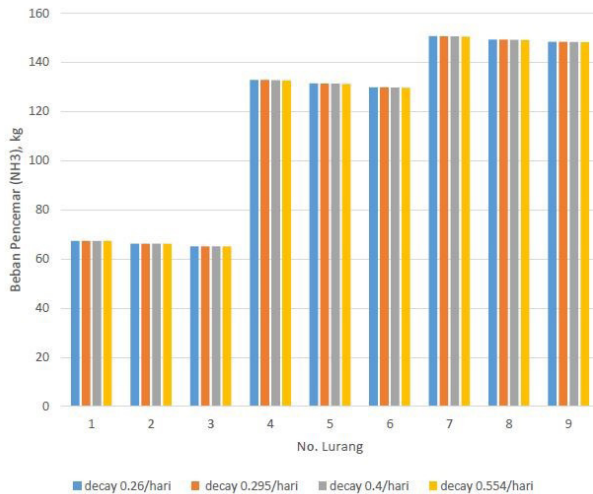
(b)

RAJAH 7. (a) Kadar pereputan bagi beban pencemar COD pada lurang 1 hingga lurang 9, (b) Kadar pereputan bagi beban pencemar COD pada lurang 10 hingga 17

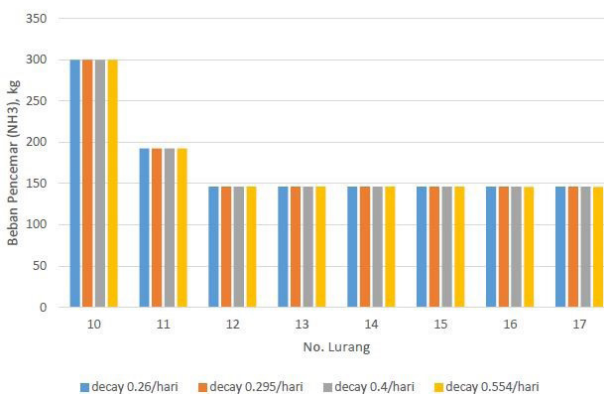
Berdasarkan Rajah 7(a), jumlah pereputan bagi beban pencemar hanyalah sekitar 0.10 – 0.29% antara nilai sebenar dengan nilai pekali kadar pereputan COD. Pada lurang 1 hingga lurang 3, dapat dilihat pekali pereputan 6.11/hari menunjukkan jumlah pereputan paling sedikit bagi beban pencemar setiap lurang berbanding pekali pereputan yang lain. Jumlah pereputan beban pencemar dalam ketiga-tiga lurang tersebut berpurata 65.38 kilogram. Selain itu, peningkatan yang ketara berlaku pada lurang 4 iaitu sebanyak 60% yang berjumlah 160.52 kilogram bagi kadar pereputan 0.80/hari. Bagi lurang 10 hingga lurang 17 pula terdapat perbezaan yang ketara bagi kadar pereputan berbanding lurang 1 hingga lurang 9. Bryan (2001) menyatakan kadar pereputan dalam aliran pembetung (disebabkan oleh aliran masuk) lebih cepat. Kadar pereputan 6.11/hari berdasarkan kajian lepas oleh Marcos (2013) mampu mengurangkan beban pencemar yang lebih banyak berbanding kadar pereputan lain yang hanya mengalami pengurangan jumlah beban pencemar sebanyak 35% sahaja. Oleh itu, lurang 17 akan menghasilkan

jumlah pereputan yang efektif terhadap lurang 4 supaya pada pengakhiran sistem pembetung ini mencapai kepekatan air sisa menghampiri nilai reka bentuk influen iaitu 500 mg/L.

#### KADAR PEREPUTAN BEBAN PENCEMAR TERHADAP AMMONIA (NH<sub>3</sub>)



(a)



(b)

RAJAH 8. (a) Kadar pereputan bagi beban pencemar Ammonia pada lurang 1 hingga 9, (b) Kadar pereputan bagi beban pencemar Ammonia pada lurang 10 hingga 17

Bagi parameter Ammonia pula, jumlah pekali pereputan telah ditetapkan berdasarkan kajian lepas oleh Nuruzzaman (2017) iaitu 0.26/hari, 0.30/hari, 0.40/hari dan 0.55/hari. Jumlah pereputan bagi ammonia adalah sedikit bagi setiap pekali pereputan. Berdasarkan Rajah 8(a) dan (b), lurang 4 menunjukkan pertambahan beban pencemar kerana terdapat penyambungan dengan lurang 17 iaitu kawasan rumah dan pembetung besar di jalan raya. Oleh itu, beban pencemarnya tinggi kerana bercampur dengan air sisa dari

kawasan perumahan. Bagi lurang-lurang yang berada di kawasan tadahan S1, pengurangan beban pencemar hanya berlaku pada lurang 10 hingga lurang 12 dan lurang selebihnya hanya menghasilkan data yang konsisten bagi kesemua kadar pereputan.

#### KESIMPULAN

Secara keseluruhan, kawasan kajian mempunyai kekuatan air sisa yang lemah berbanding dengan nilai reka bentuk yang digariskan oleh MSIG terutamanya bagi nilai COD iaitu 500 mg/L dan Ammonia iaitu 30 mg/L. Nilai kekuatan air sisa yang rendah dapat dilihat melalui analisis sampel air sisa yang diambil dari lurang kawasan kajian. Ini berlaku disebabkan pengaruh aliran masuk air hujan dan penyusupan.

Berdasarkan simulasi SWMM yang dijalankan, hasil penyusupan yang berlaku tidak mempengaruhi halaju air sisa tetapi memberi kesan kepada kekuatan air sisa yang mana boleh menyebabkan kepekatan air sisa berkurang. Penyusupan secara signifikan meningkatkan aliran kumbahan dan penurunan kepekatan air sisa kumbahan terutamanya pada musim hujan (Watanabe et al. 2019). Selain itu, jumlah beban pencemar yang terhasil untuk tempoh 12 jam simulasi dijalankan bagi COD ialah 160-180 kg dengan jumlah pereputan yang berlaku sekitar 0.10-0.29% manakala Ammonia pula menghasilkan beban pencemar sebanyak 140-160 kg dengan kadar pereputan yang konsisten dan tidak memberi pengurangan yang banyak kepada Ammonia.

Hasil pereputan COD dan Ammonia menunjukkan perubahan yang berlaku adalah berjulat dari 0.1-0.3%. Pengurangan beban pencemar berpunca dari peningkatan kadar pereputan menunjukkan bahawa beban pencemar dalam air sisa lebih cepat mengalami pengurangan apabila kadar pereputan lebih tinggi dalam sehari. Kawasan kajian perlu diperbanyakkan lagi pada masa akan datang serta mencari kawasan kajian yang mempunyai PE yang berbeza bagi mempertingkatkan lagi keberkesanan kajian.

#### PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas sokongan kewangan mereka di bawah geran FRGS/1/2018/TK01/UKM/02/4.

#### PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.



## RUJUKAN

- Abdullah, M. A. 2016. Sistem Pembetulan Terpusat: Strategi Melestarikan Pengurusan (July).
- Ellis, J. B. & Down, P. 2001. Sewer infiltration / exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality (February): 19–22.
- Lowe, S. A. 2009. Sanitary Sewer Design Using EPA Storm Water Management Model (SWMM) 203–212. doi:10.1002/cae.20124
- Mohammed, S. K., Abbakr, K. M., Awad, A. M. & Abdel-magid, I. M. 2015. Application of storm water management model in wastewater engineering : Design of AlMuhandseen sewerage system using SWMA By (April 2008).
- Ngien, S. K. & Yap, H. T. 2017. Flow Design of Sewerage System – A Case Study in Taman Pandan Damai , Kuantan 10(January): 8–11. doi:10.17485/ijst/2017/v10i2/110375
- Practice, W., Cardoso, M. A. & Prigiobbe, V. 2006. Assessing the impact of infiltration and exfiltration in sewer systems using performance indicators: Case studies of the APUSS project (January 2014). doi:10.2166/wpt.2006.01
- Rahman, N. A. B. D., Jasmi, M. A., Hj, M. H., Hamid, A. & Baki, A. M. 2003. Kajian Aliran Masuk dan Penyusupan dalam Sistem Pembentukan di taman Sri Pulai, Skudai. *Jurnal Teknologi* 39: 17–28.
- Salleh, M. N. A. A. M. M. N. B. 2017. Determining ammonia nitrogen decay rate of Malaysian river water in a laboratory flume. *International Journal of Environmental Science and Technology*. doi:10.1007/s13762-017-1482-0
- Science, E. 2019. Diversification of temporal sewage loading concentration in tropical climates department of chemical and biological engineering. *The University of Sheffield*. doi:10.1088/1755-1315/264/1/012026
- Sperling, M. Von & Paoli, A. C. De. 2013. First-order COD decay coefficients associated with different hydraulic models applied to planted and unplanted horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 57:205–209. doi:10.1016/j.ecoleng.2013.04.036
- Swamee, P. K. 2001. Design of sewer line. *ASCE Journal of Environmental Engineering* 127(9): 776-81.
- Watanabe, R., Harada, H., Yasui, H. & Le, T. Van. 2019. Exfiltration and infiltration effect on sewage flow and quality : A case study of Hue, Vietnam. *Environmental Technology* 0(0): 1–11. doi:10.1080/09593330.2019.1680739