

PENJANAAN DAN PENGURUSAN ENAP CEMAR DI LOJI RAWATAN AIR
TERPILIH NEGERI KELANTAN

RAJA RUSDY IRWAN BIN RAJA HUSSIN

Laporan projek ini dikemukakan sebagai memenuhi sebahagian
daripada syarat penganugerahan ijazah
Sarjana Kejuruteraan (Awam)

Sekolah Kejuruteraan Awam
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Teknologi Malaysia

SEPTEMBER 2020

DEDIKASI

Istimewa buat ibubapa tercinta:
Raja Hussin bin Raja Awang dan Resenah binti Puteh

Ibu & bapa Mertua:
Azman bin Mohamed dan Hazimah binti Mohd Firus

dan buat isteri yang tersayang,
Nur Amirah binti Azman

Teman-teman sekelas

berkat daripada kasih sayang...
dorongan...
dan bantuan yang tidak ternilai harganya...

Terima Kasih segalanya...

PENGHARGAAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Pengasihani”

Alhamdulillah, dan syukur ke hadrat Allah SWT kerana dengan izin-Nya saya dapat menyiapkan projek Sarjana Kejuruteraan Awam. Pertama sekali saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Prof Dr Azmi bin Aris kerana sudi memberi peluang kepada saya untuk melakukan projek ini di bawah penyeliaan beliau. Segala bimbingan dan pengorbanan masa terhadap keperihatinan beliau saya ucapkan jutaan terima kasih yang tidak terhingga. Hanya Allah mampu membalasnya.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada keluarga tercinta terutama isteri, Nur Amirah Azman kerana di atas pengorbanan mereka yang banyak memberi dorongan dan nasihat serta kata-kata semangat sehingga menghabiskan pengajian di UTM. Penghargaan ini turut saya tujukan kepada rakan-rakan seperjuangan dan pihak AKSB yang banyak memberi bantuan dan dorongan serta jasa baik dari anda semua tidak dapat dibalas dengan kata-kata.

Akhir kata dari saya, terima kasih yang tidak terhingga dan saya sentiasa mendoakan anda semua Berjaya di dunia dan akhirat. Amin.

ABSTRAK

Sumber air bawah tanah telah dijadikan sumber utama yang membekalkan air mentah ke setiap loji rawatan air di negeri Kelantan. Pihak Air Kelantan Sdn. Berhad (AKSB) bertanggungjawab ke atas 36 buah Loji Rawatan Air (LRA) yang beroperasi di negeri Kelantan termasuk isu agihan air terawat dan pengurusan enap cemar. Kajian ini telah dijalankan adalah bertujuan untuk menentukan perbezaan ciri-ciri kualiti air, pengeluaran air dan penjanaaan enap cemar di antara LRA Chicha, LRA Merbau Chondong dan LRA Kampung Chap serta mengenal pasti hubungan di antara parameter kualiti air mentah dan kaedah rawatan air yang mempengaruhi secara signifikan terhadap kuantiti pembentukan enap cemar. Kaedah metodologi yang digunakan bagi kajian ini terbahagi kepada dua jenis iaitu sesi lawatan tapak dan analisis statistik menggunakan rekod bacaan kualiti air di setiap loji. Berdasarkan dapatan kajian, setiap kaedah pengambilan sumber air mentah dan proses rawatan air (konvensional atau chemiless) memberi implikasi yang berbeza. Keputusan peratusan penjanaaan enap cemar dan kehilangan air di LRA Kampung Chap adalah berbeza jika dibandingkan dengan LRA Merbau Chondong dan LRA Chicha dimana sebanyak 19.5% enap cemar telah dihasilkan dan 10% kehilangan air telah dicatatkan di LRA Kampung Chap. Manakala, penjanaaan enap cemar di LRA Merbau Chondong telah mencatatkan sebanyak 6.5% (enap cemar) dan 3.3% (kehilangan air) dan LRA Chicha telah mencatatkan 6.1% (enap cemar) dan 1.28% (kehilangan air). Penggunaan rawatan air jenis tanpa kimia (LRA Kampung Chap) penyebab utama peningkatan penghasilan enap cemar yang tinggi berbanding dengan rawatan air jenis konvensional (LRA Chicha dan LRA Merbau Chondong). Dapatan kajian ini diharap boleh digunapakai untuk menguruskan, memaksimumkan nilai enap cemar sambil mengurangkan penjanaannya supaya kesan negatif terhadap alam sekitar dapat diatasi. Di samping itu hasil dapatan kajian yang dijalankan ini bertujuan untuk membantu pihak pengurusan AKSB bagi memilih proses rawatan air mentah yang terbaik supaya dapat mengurangkan penjanaaan enap cemar di pembinaan LRA yang baharu nanti.

ABSTRACT

Groundwater resources have become the main source that supplies raw water to every water treatment plant in the state of Kelantan. Air Kelantan Sdn. Bhd. (AKSB) are responsible for 36 Water Treatment Plants (WTPs) operating in Kelantan including issues of treated water distribution and sludge management. This study was conducted to determine the differences in water quality characteristics, water production and sludge formation between Chicha WTP, Merbau Chondong WTP and Kampung Chap WTP as well as to identify the relationship between raw water quality parameters and water treatment methods that affect significant on the quantity of sludge formation. The methodology used for this study are divided into two types, firstly site visit sessions and statistical analysis using water quality reading records at WTP. Based on the findings of the study, each method of extraction of raw water source and water treatment process (conventional or chemiless) has different implications. The results of the percentage of sludge formation and water loss in Kampung Chap WTP are different when compared to Merbau Chondong WTP and Chicha WTP where 19.5% of sludge was produced and 10% of water loss was recorded in Kampung Chap WTP. Meanwhile, sludge formation at the Merbau Chondong WTP has recorded 6.5% (sludge) and 3.3% (water loss) and the Chicha WTP has recorded 6.1% (sludge) and 1.28% (water loss). The use of chemiless water treatment (Kampung Chap WTP) is the main reason for the increase in high production of sludge compared to conventional water treatment (Chicha WTP and Merbau Chondong WTP). It is hoped that the findings of this study can be used to manage, maximize the value of sludge while reducing its generation so that negative effects on the environment can be overcome. In addition, the findings of this study are aimed at helping the AKSB management to select the best raw water treatment process in order to reduce the formation of sludge in the construction of a new WTP later.

SENARAI KANDUNGAN

	TAJUK	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	iii
	DEDIKASI	iv
	PENGHARGAAN	v
	ABSTRAK	vi
	ABSTRACT	vii
	SENARAI KANDUNGAN	viii
	SENARAI JADUAL	x
	SENARAI RAJAH	xi
	SENARAI SINGKATAN	xiv
	SENARAI LAMPIRAN	xv
BAB 1	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang Kajian	1
	1.2 Pernyataan Masalah	5
	1.3 Objektif Kajian	7
	1.4 Skop dan Kekangan Kajian	7
	1.5 Struktur Penulisan Tesis	8
BAB 2	KAJIAN LITERATUR	9
	2.1 Pengenalan	9
	2.2 Pengurusan Air Terawat di Malaysia	11
	2.3 Ciri-ciri Air Mentah	16
	2.3.1 Ciri Fizikal	18
	2.3.2 Ciri Kimia	19
	2.3.3 Ciri Biologi	21
	2.4 Kaedah Rawatan Air	22
	2.4.1 Jenis Konvensional	22
	2.4.2 Jenis Penapisan Ultra	24

2.4.3	Jenis “Deferum & Demagnum”	25
2.4.4	Jenis Tanpa Kimia (<i>Chemiles</i>)	26
2.4.5	Jenis Pengozonan	26
2.5	Penghasilan Enap Cemar	28
2.6	Pelupusan Enap Cemar	29
BAB 3	METODOLOGI KAJIAN	33
3.1	Pengenalan	33
3.2	Tapak Kajian	34
3.3	Sumber Data Kajian	36
3.3.1	Data Kualiti Air - Ujian Balang	36
3.3.2	Data Kuantiti Air dan Enap Cemar	38
3.4	Data Analisa	38
3.4.1	Penyusunan Data	39
3.4.2	Kaedah Analisa	41
BAB 4	DAPATAN DAN PERBINCANGAN	43
4.1	Pengenalan	43
4.2	Hasil Dapatan Lawatan Tapak & Temubual	44
4.2.1	LRA Chicha	44
4.2.2	LRA Merbau Chondong	46
4.2.3	LRA Kampung Chap	48
4.3	Hasil Dapatan Analisis Statistik	50
4.4	Perbandingan LRA mengikut Parameter Kualiti Air	54
4.4.1	Analisa pH	55
4.4.2	Analisa Kekeruhan	59
4.4.3	Analisa Kandungan Ferum	64
4.5	Parameter Yang Mempengaruhi Enap Cemar	68
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Cadangan Penambahbaikan Kajian Masa Hadapan	74
RUJUKAN		75

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
Jadual 2. 1	Senarai Kementerian dan Agensi - Agensi Kerajaan yang Terlibat dalam Pengurusan Air di Malaysia.	12
Jadual 2. 2	Senarai Loji Rawatan Air dan Kapasiti Pengeluaran Bekalan Air (AKSB, 2020)	14
Jadual 2. 3	Piawaian Kualiti Air Mentah dan Terawat (KKM, 2016)	17
Jadual 4. 1	Piawaian Kualiti Air Bawah Tanah Mentah dan Terawat	50
Jadual 4. 2(a)	Analisa Deskriptif Data bagi LRA Chicha	51
Jadual 4. 2(b)	Analisa Deskriptif Data bagi LRA Merbau Chondong	53
Jadual 4. 2(c)	Analisa Deskriptif Data bagi LRA Kampung Chap	54
Jadual 4. 3(a)	p-Value bagi parameter pH	59
Jadual 4. 3(b)	p-Value bagi parameter Kekeruhan (NTU)	63
Jadual 4. 3(c)	p-Value bagi parameter Ferum	68
Jadual 4. 4(a)	Signifikasi Parameter berdasarkan Enap Cemar LRA Kampung Chap	68
Jadual 4. 4(b)	Signifikasi Parameter berdasarkan Enap Cemar LRA Chicha	69
Jadual 4. 4(c)	Signifikasi Parameter berdasarkan Enap Cemar LRA Merbau Chondong	69
Jadual 4. 5	Peraturan Enap Cemar Mengikut LRA	70

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
Rajah 2. 1	Kedudukan lokasi persempelan terletak di lima (5) lokasi utama iaitu muka sauk (intake), TPO (<i>Treatment Plant Outlet</i>), BRO (<i>Balancing Reservoir Outlet</i>), SRO (<i>Service Reservoir Outlet</i>) dan paip ke premis pengguna (asuxillary) (Najri, 2015)	15
Rajah 2. 2	Skematik Proses Rawatan Air Secara Menyeluruh Menggunakan Kaedah Konvensional (GEC et al., 2016)	23
Rajah 2. 3	Modul Membran Penapisan Ultra (Chun, 2015)	24
Rajah 2. 4	Carta Proses Rawatan Air “Deferum & Demagnum” (AKSB, 2020)	25
Rajah 2. 5	Carta Proses Rawatan Air <i>Chemiles</i> (AKSB, 2020)	26
Rajah 2. 6	Carta Proses Rawatan Air Pengozonan (AKSB, 2020)	27
Rajah 2. 7(a)	Enap cemar telah dipam keluar daripada tangki	29
Rajah 2. 7(b)	Lumpur enap cemar yang dihasilkan oleh loji rawatan air	29
Rajah 2. 7(c)	Enap cemar sedia untuk dilupuskan	29
Rajah 3. 1	Rekabentuk Kerangka Kajian	33
Rajah 3. 2	Kedudukan LRA Chicha, LRA Kampung Chap dan LRA Merbau Chondong di Peta Negeri Kelantan (Sumber: <i>The Edge Market</i>)	35
Rajah 3. 3	Ujian Balang yang digunakan oleh setiap LRA	37
Rajah 3. 4	Alat pengukur kadar aliran yang digunakan oleh setiap LRA	38
Rajah 3. 5	Rekod Analisis Kualiti Air bagi LRA Chicha	39
Rajah 3. 6	Penyusunan Semula Rekod Analisis Kualiti Air bagi LRA Chicha	40

Rajah 3. 7	Ringkasan Rekod Analisis Kualiti Air bagi LRA Kampung Chap mengikut Bulan	41
Rajah 4. 1	Peta Lokasi Loji Rawatan Air Chicha, Jajahan Kota Bharu	45
Rajah 4. 2	Gambaran Keseluruhan Proses Loji Rawatan Air Chicha	45
Rajah 4. 3	Proses untuk mengangkut keluar enap cemar yang berbentuk pepejal dari Loji Rawatan Air Chicha	46
Rajah 4. 4	Peta Lokasi Loji Rawatan Air Merbau Chondong, Jajahan Machang	47
Rajah 4. 5	Laguna di LRA Merbau Chondong	48
Rajah 4. 6	Peta Lokasi Loji Rawatan Air Kampung Chap, Jajahan Bachok	49
Rajah 4. 7	Mesin Semburan Khas Pengudaraan di LRA Kampung Chap	49
Rajah 4. 8	Tangki Keseimbangan Enap Cemar LRA Kampung Chap	50
Rajah 4. 9	Pelepasan air dari Laguna 1 ke sungai di LRA Merbau Chondong	53
Rajah 4. 10(a)	pH air mentah di LRA Kampung Chap	55
Rajah 4. 10(b)	pH air mentah di LRA Chicha	56
Rajah 4. 10(c)	pH air mentah di LRA Merbau Chondong	57
Rajah 4. 11(a)	pH air terawat di LRA Kampung Chap	57
Rajah 4. 11(b)	pH air terawat di LRA Chicha	58
Rajah 4. 11(c)	pH air terawat di LRA Merbau Chondong	59
Rajah 4. 12(a)	Kekeruhan air mentah di LRA Kampung Chap	60
Rajah 4. 12(b)	Kekeruhan air mentah di LRA Chicha	60
Rajah 4. 12(c)	Kekeruhan air mentah di LRA Merbau Chondong	61
Rajah 4. 13(a)	Kekeruhan air terawat di LRA Kampung Chap	62
Rajah 4. 13(b)	Kekeruhan air terawat di LRA Chicha	62
Rajah 4. 13(c)	Kekeruhan air terawat di LRA Merbau Chondong	63
Rajah 4. 14(a)	Ferum air mentah di LRA Kampung Chap	64

Rajah 4. 14(b)	Ferum air mentah di LRA Chicha	65
Rajah 4. 14(c)	Ferum air mentah di LRA Merbau Chondong	66
Rajah 4. 15(a)	Ferum air terawat di LRA Kampung Chap	66
Rajah 4. 15(b)	Ferum air terawat di LRA Chicha	67
Rajah 4. 15(c)	Ferum air terawat di LRA Merbau Chondong	67
Rajah 4. 16	Peraturan Enap Cemar Bagi Setiap LRA	71

SENARAI SINGKATAN

ACH	-	Aluminium Chlorohydrate
AKSB	-	Air Kelantan Sdn Bhd
BPK	-	Bahagian Perkhidmatan Kejuruteraan
BRO	-	Balancing Reservoir Outlet
CEB	-	Pembasuhan Secara Kimia
CTW	-	Telaga Tiub Konvensional
HCW	-	Telaga Pengumpul Jejari
IKA	-	Indeks Kualiti Air
JAS	-	Jabatan Alam Sekitar
JBA	-	Jabatan Bekalan Air
JPS	-	Jabatan Pengairan dan Saliran
KASA	-	Kementerian Alam Sekitar dan Air
KMAM	-	Unit Kawalan Mutu Air Minum
KKM	-	Kementerian Kesihatan Malaysia
LRA	-	Loji Rawatan Air
MLD	-	Jutaan Liter Per Hari (Million Litres Per Days)
NAHRIM	-	Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia
NWQS	-	Piawaian Kualiti Air Negara
PAAB	-	Pengurusan Aset Air Berhad
SPAN	-	Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara
SRO	-	Service Reservoirs Outlet
TPO	-	Treatment Plant Outlet
UF	-	Penapisan Ultra
WECAM	-	Persatuan Pengguna Air dan Tenaga Malaysia

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Data LRA Chicha	83
B	Data LRA Kampung Chap	84
C	Data LRA Merbau Chondong	85

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Kajian

Kehidupan di atas muka bumi ini sangat memerlukan sumber air sebagai merupakan satu keperluan asas biologi. Kajian menyatakan di dalam tubuh badan seseorang terkandung sebanyak 65% isipadu air (David, 2013). Maka, ini jelas membuktikan bahawa kajian yang menyatakan sumber air adalah kepentingan utama dalam kehidupan seharian manusia adalah benar.

Di Malaysia, memperolehi kuantiti sumber air terawat dan bersih adalah terhad berbanding memperolehi kemudahan keperluan pelbagai sumber air (Yang, 2017; Braden, 2013; Chan, 2008). Secara umumnya sumber air ini terbahagi kepada dua jenis sumber iaitu air permukaan dan air bumi. Mana-mana air yang di dapati mengalir di permukaan bumi sama ada kolam, takungan, sungai, ataupun tasik, ia dikenali sebagai air permukaan dan manakala air bawah tanah atau sumber air daripada akuifer akan dikenali sebagai sumber air bumi (Gray, 2008; Noraini, 1996).

Di negeri Kelantan, sumber air bumi telah dijadikan sumber utama yang digunakan. Alternatif sumber air bersih yang banyak digunakan adalah dari punca penggunaan telaga tiub. Kaedah penggerudian bawah tanah adalah kaedah terpenting untuk mendapatkan bekalan air bawah tanah di mana air akan diperolehi melalui sistem pengepaman air melalui saluran paip yang telah digerudikan. Kebiasaanya air yang diekstrak dari sumber air bawah tanah akan diambil dari lapisan batuan keras granit atau batuan keras lain atau kedalaman tanah lebih 20 meter atau beratus meter dari permukaan bumi. Pengekstrakan air adalah lebih dipercayai mempunyai kualiti jika dibandingkan dengan air yang diekstrak dari permukaan sungai dan kolam.

Penerimaan jumlah bekalan air oleh penduduk adalah penentu kepada aspek kuantiti bekalan air sama ada mencukupi atau sebaliknya. Aspek kuantiti bekalan air ini sangat penting kerana aktiviti harian pengguna boleh terganggu atau terjejas akibat bekalan air yang tidak mencukupi dan tidak berterusan. Kedua-dua aspek ini sangat penting bagi memastikan penduduk memperoleh bekalan air yang sepatutnya untuk kelangsungan hidup yang sejahtera dan sumber bekalan air dapat dimanfaatkan dengan sepenuhnya.

Secara umumnya, bagi memastikan kualiti air terjamin terdapat dua proses rawatan air iaitu konvensional dan bukan konvensional. Menurut Amir et al., (2010), konvensional adalah proses rawatan air yang melibatkan sistem koagulasi, flokulasi, pemendapan dan penapisan, manakala bukan konvensional pula adalah proses rawatan air yang lebih mudah dan menggunakan peralatan atau system yang canggih berbanding kaedah konvensional. Di Malaysia, kedua-dua pemprosesan rawatan air adalah digunakan kerana ianya boleh membantu membangunkan negara.

Bagi memastikan bekalan sumber air yang bersih dibekalkan kepada penduduk Negeri Kelantan secara sistematik dan cekap, Air Kelantan Sdn. Bhd. (AKSB) telah memikul tanggungjawab dalam pengurusan dan pengagihan bekalan air terawat. Pihak AKSB kebiasaannya menggunakan kedua-dua punca sumber air iaitu daripada permukaan sungai dan air bumi untuk membekalkan bekalan air bersih kepada penduduk. Sumber air mentah utama di kawasan Kelantan selatan adalah daripada air permukaan seperti Sungai Kelantan, Sungai Terang, Sungai Galas, Sungai Jegor, Sungai Lebir dan sungai-sungai lain, manakala Kelantan utara pula menggunakan sumber air bumi. Kesemua sumber air mentah ini akan menjalani proses rawatan terlebih dahulu di loji rawatan air (LRA) sebelum diterima oleh kepada penduduk Kelantan. Pihak AKSB turut berdepan dengan pelbagai cabaran dalam mentadbir urusan pembekalan sumber air terawat kepada penduduk Kelantan. Antara cabaran-cabaran dihadapi oleh AKSB adalah kekangan sumber bekalan air bersih, ketiadaan tapak yang bersesuaian untuk pembebasan enap cemar serta liputan bekalan air amat terhad.

Menurut kajian Intan et al. (2013) telah menyatakan bahawa peningkatan dalam penggunaan atau permintaan air adalah disebabkan oleh faktor peningkatan

dalam populasi manusia, pembangunan yang tidak terkawal dan pertumbuhan dalam bidang perindustrian dan pertanian. Namun, menurut Zainudin (2008) pertambahan penduduk tidak semestinya mengakibatkan pertambahan permintaan bekalan air domestik sebaliknya melalui kajiannya mendapati permintaan air bersih oleh pengguna AKSB di Negeri Kelantan dipengaruhi oleh saiz isi rumah dan jenis rumah.

Dari segi teknikal pula, pelbagai jenis reka bentuk sistem rawatan air pada skala kecil yang lebih ekonomi serta efektif dengan teknologi yang berbeza-beza yang ada berbanding dengan system rawatan air yang digunapakai di loji-loji besar sekarang. Penghasilan air yang bersih dan penapisan yang lebih efektif serta selamat diminum adalah membuktikan kecekapan rekabentuk sistem operasinya loji sekarang.

Kualiti air sentiasa dipastikan terjamin dan selamat oleh pengendali loji dari segi kesihatan, penganalisaan kualiti air secara berkala melibatkan parameter fizikal, kimia dan biologiikal serta sistem agihan oleh. Dari segi penentuan kuantiti enap cemar adalah bergantung kepada kuantiti penerimaan bekalan air mentah, kaedah rawatan dan jenis kemudahan untuk pengendalian enap cemar. Di LRA, kualiti air dianalisa secara manual di makmal dengan kekerapan sekurang-kurangnya setiap dua jam bagi parameter asas seperti kekeruhan, pH, warna, baki klorin dan aluminium. Analisa air juga dilakukan secara bulanan dan setiap tiga bulan serta tahunan bagi parameter kimia organik, bukan organik, logam berat dan pestisid (Najri, 2015).

Jumlah penghasilan enap cemar pengolahan air minum pada peringkat global dilaporkan sekitar 10,000 tan sehari. Loji rawatan air di negeri Pulau Pinang sahaja menghasilkan sejumlah besar 7,000,000 m³ enap cemar air setiap tahun berdasarkan laporan tahunan dari Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara Malaysia pada tahun 2011 (Yew et al., 2017). Umum mengetahui bahawa proses rawatan air akan memberi kesan kepada alam sekitar sekiranya sistem pengurusan air di loji rawatan tidak teratur. Loji rawatan air minum menghasilkan enap cemar hidroksida selepas air melalui penapis dan penapisan selimut lumpur (Dahlou et al., 2016; Benlalla et al., 2015). Proses klarifikasi menghilangkan bahan yang terampai (Suspended Matter - SM) dan koloid dari air yang dirawat dalam tiga peringkat berturut-turut iaitu pengaliran umpan, pembekuan dan pemendapan. Pembebasan sisa ini adalah termasuk sejumlah besar

bahan pencemar organik, termasuk logam berat, yang kemudian diserap oleh enap cemar dan melalui cara ini, enap cemar menjadi takungan bagi logam berat.

Sisa enap cemar (sludge waste) ditakrifkan sebagai sisa sangat basah dengan cecair tidak penting dan tidak bernilai (Ooi, 2018; Koohestanian et al., 2008). Enap cemar hidroksida mempunyai sifat yang sangat serupa tetapi berbeza hanya dengan kepekatan bahan yang terampai. Kolam penenggelaman enap cemar kebanyakannya terdiri daripada pepejal terampai dalam air mentah dengan badan hidroksida logam yang dihasilkan oleh pembekuan (Dahlou et al, 2016).

Proses rawatan enap cemar mempunyai pelbagai variasi atau kombinasi kaedah pelupusan yang berbeza pelaksanaannya bergantung pada keadaan setempat, kuantiti dan kualiti enap cemar, ketersediaan tanah untuk pemasangan dan platform pengeringan dan penyimpanan. Penghasilan enap cemar pada hakikatnya mempunyai pelbagai kegunaan di antaranya dalam produk biomass, bahan pembinaan, kilang simen, pembakaran dan pelupusan sampah (Olga, 2016). Banyak kajian yang dijalankan dalam negara dan juga luar negara telah memfokuskan ke arah menukar enap cemar kepada bahan yang bernilai seperti bata tanah liat (diperbuat daripada enap cemar rawatan air) (Wolff et al., 2015; Kizinievic et al., 2013), bahan penyingkiran fosfat, (Nazirul et al., 2014), enap cemar sebagai bahan binaan contohnya simen (Chen et al., 2010), bata, seramik (Kizinievic et al., 2013; Benlalla et al., 2015), konkrit dan motar (Gastaldini et al., 2015).

Pada masa ini, loji rawatan air turut mengalami situasi sama di mana kapasiti berlebihan digunakan untuk mengolah enap cemar. Pengurusan sisa sifar secara lestari, termasuk sisa enap cemar ialah satu daripada cara memulihara ekologi alam sekitar dan yang penting, kesihatan orang awam. Perkara ini memberi manfaat lebih bermakna apabila sisa enap cemar dikitar semula dan menjadi sumber pendapatan mampan. Kesan buruk kepada kesihatan dan persekitaran akan berlaku jika bahan cemar ini tidak diuruskan dengan sebaik mungkin. Pelbagai cadangan langkah untuk melupuskan enap cemar tersebut sama ada dalam cecair mahupun pepejal. Menurut Fatiha et al. (2001) antara langkah yang boleh diambil adalah seperti tebusguna tanah, pembaikpulihan tanah hutan, kambusan atau pengkomposan. Ciri-ciri air mentah yang

disalurkan loji rawatan adalah menentukan komposisi enap cemar sebenarnya. Oleh itu kaedah pencirian awal parameter yang terkandung dalam air mentah perlu dikaji bagi membantu untuk menilai kesesuaian sesuatu kaedah pelupusan yang akan ditetapkan.

1.2 Pernyataan Masalah

Enap cemar adalah sisa berbentuk separa pepejal yang terhasil peringkat pengasingan pepejal terampai di dalam air semasa proses rawatan air. Penghasilan enap cemar melibatkan semua proses rawatan air seperti seperti sisa industri, kumbahan dan air mentah (WECAM, 2017). Enap cemar akan menghasilkan bahan organik yang kaya dengan nutrien dikenali sebagai biopepejal selepas ia dirawat (Wan, 2018).

Saban tahun, loji rawatan air di Malaysia banyak menghasilkan kuantiti enap cemar akibat pertumbuhan penduduk dan pembangunan serta peningkatan permintaan air minuman. Ini secara tidak langsung memberi kesan penting kepada pelupusan sisa enap cemar (Ping et al., 2019). Di Malaysia, kaedah pelupusan sisa enap cemar yang dibenarkan oleh pihak Kerajaan hanyalah dengan membuang sisa enap cemar tersebut ke tapak pelupusan yang telah diwartakan. Walau bagaimanapun, disebabkan peningkatan kuantiti pembentukan enap cemar pada saban tahun, pihak pengurusan air di loji berhadapan dengan kekangan utama iaitu mencari tapak baru yang sesuai untuk pelupusan bagi menampung lebih kuantiti di tapak sedia ada. Oleh sebab itu, kebanyakan pengurusan air di loji memilih untuk membuang atau melupuskan sisa enap cemar melalui pengaliran semula campuran sisa enap cemar dengan lebih air mentah ke sungai yang berdekatan tanpa ada sebarang rawatan ke atas sisa enap cemar tersebut (Ling et al., 2017).

Di negara India, kajian telah dilakukan oleh Ahmad (2016) menunjukkan pelbagai pendekatan dan strategi untuk penggunaan semula enap cemar daripada loji rawatan air dengan memperkenalkan konsep 3R- Recover, Recycle, Reuse iaitu

pemulihan, kitar semula dan penggunaan semula. Penggunaan semula enap cemar boleh menjadi alternatif kepada kaedah sedia ada (Mohd, 2015).

Kajian oleh Adila (2019) melaporkan tali air dan sungai di Kampung Pulau Raja, Kubang Kerian, Kelantan mengandungi mendapan kelodak enap cemar sedalam tiga meter. Kejadian itu berpunca dari LRA Chicha yang melepaskan sisa enap cemar dan mendapan selut (enapan lumpur) hingga terjejas sumber air bersih bagi 5,000 penduduk di sekitar Kampung Pulau Hilir dan Pulau Raja. Ia berlaku sejak kewujudan loji itu selama belasan tahun namun situasi menjadi kritikal sejak dua tahun lalu. Sisa enap cemar itu bukan saja mencemarkan pandangan mata, malah memusnahkan ekosistem hidupan air seperti ikan air tawar serta udang. Oleh itu, enap cemar perlu diuruskan dengan secara sistematik bagi mengurangkan kesan logam berat terhadap benda hidup terutamanya manusia dan haiwan.

Di samping itu, Siti (2019) turut melaporkan bahawa pihak AKSB telah menghentikan pelepasan enap cemar di kawasan sungai dan tali air di Kampung Pulau Raja, Kubang Kerian, Kelantan sejak Disember 2019. Pihak pengurusan AKSB telah menyediakan peruntukkan tambahan sebanyak RM1.5 juta untuk memperolehi tiga lot tanah di Mukim Wakaf Stan serta memnaiktaraf sistem rawatan dan pengurusan enap cemar ke arah yang lebih baik di samping penggunaan soda kaustik di LRA Chicha sedia ada bagi mengurangkan penghasilan enap cemar. Pembinaan loji yang baharu dijangkakan dapat mengurangkan penghasilan enap cemar di LRA Chicha.

Oleh itu, kajian melibatkan pengurusan enap cemar di Malaysia sangat penting kerana ianya terhad. Kepentingan kajian ini adalah dapat menyumbang pelbagai cara untuk menguruskan, memaksimumkan nilai enap cemar sambil mengurangkan penjanaannya supaya kesan negatif terhadap alam sekitar dapat diatasi. Di samping itu hasil dapatan kajian ini diharap dapat untuk membantu pihak pengurusan AKSB untuk memilih proses rawatan air mentah yang terbaik supaya dapat mengurangkan penghasilan enap cemar di pembinaan LRA yang baharu nanti.

1.3 Objektif Kajian

Antara objektif kajian ini adalah sebagaimana berikut:

- a. menentukan perbezaan ciri-ciri kualiti air, pengeluaran air dan penjanaaan enap cemar di antara LRA terpilih dan
- b. mengenal pasti hubungan di antara parameter kualiti air mentah dan kaedah rawatan air yang mempengaruhi secara signifikan terhadap kuantiti pembentukan enap cemar.

1.4 Skop dan Kekangan Kajian

Skop kajian ini tertumpu pada pengurusan sumber bekalan air yang dirawat tiga LRA terpilih iaitu Loji Rawatan Air Chicha, Jajahan Kota Bharu, Loji Rawatan Air Kampung Chap, Jajahan Bachok dan Loji Rawatan Air Merbau Chondong, Jajahan Machang dengan membandingkan proses rawatan air bawah tanah yang berbeza di ketiga-tiga LRA berkenaan dan pembentukan enap cemar. Kajian ini meliputi dua aspek pengurusan iaitu pengurusan proses rawatan air yang merangkumi kualiti dan kuantiti dan juga pengurusan enap cemar yang terhasil akibat proses rawatan sumber air tersebut.

Pengumpulan data sekunder diperolehi daripada pengkalan data yang disimpan oleh pihak AKSB untuk membuat perbandingan dan penganalisan bagi mengenalpasti ciri-ciri sumber air bumi yang boleh menjanakan sisa enap cemar dalam menentukan tata urus yang bersesuaian dan terbaik. Kajian ini juga mengadakan lawatan tapak ke kawasan kajian bagi memahami proses pengurusan sisa enap cemar. Kajian kes melibatkan tiga buah loji dilakukan secara berperingkat dan mengikut jadual yang ditetapkan. Hanya parameter pH, kekeruhan dan kandung ferum/iron bagi kategori air mentah dan air yang terawat sahaja digunapakai.

RUJUKAN

- Climent, M.J., Herrero-Hernández, E., Sánchez-Martín, M.J., Rodríguez-Cruz, M.S., Pedreros, P., Urrutia, R., (2019). *Residues of pesticides and some metabolites in dissolved and particulate phase in surface stream water of Cachapoal River basin, central Chile*. Environ. Pollut. 251, 90–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.117>
- Derbalah, A., Chidya, R., Jadoon, W., Sakugawa, H., (2019). *Temporal trends in organophosphorus pesticides use and concentrations in river water in Japan, and risk assessment*. J. Environ. Sci. 79, 135–152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.11.019>
- Herrero-Hernández, E., Andrades, M.S., Álvarez-Martín, A., Pose-Juan, E., Rodríguez-Cruz, M.S., Sánchez-Martín, M.J., (2013). *Occurrence of pesticides and some of their degradation products in waters in a Spanish wine region*. J. Hydrol. 486, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.025>
- Gray, N. F. (2008). *Drinking water quality: Problems and solutions (2nd ed.)*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Noraini Amin. (1996). *Impak Perindustrian Dan Pembuangan Domestik Ke Dalam Sungai Melaka: Satu Kajian Kes Tentang Kualiti Air*. Latihan Ilmiah. Jabatan Geografi. Bangi: Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Amir Hamzah, S., Noor Zalina, M., & Abdul Halim, S. (2010). *Life Cycle Impact Assessment (LCIA) of potable water production in Malaysia: A comparison among different technology used in water treatment plant*. Environmental Asia, 3(1), 95-102.
- Intan Sazrina, S., & Nor Ashikin, M.Y. (2013). *The need for better water policy and governance in Malaysia*. Procedia Sosial and Behavioral Sciences, 81, 371-375.
- K.M. Al-Qahtani, *Water purification using different waste fruit cortexes for the removal of heavy metals*, J. Taib. Univ. Sci.(2015),<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtusc.2015.09.001>.

- M. Dahhou, M. El Moussaouiti, A. Benlalla, A. El Hamidi, M. Taibi, M.A. Arshad, *Structural aspects and thermal degradation kinetics of water treatment plant, sludge of Moroccan capital*, Waste Biomass Valor. (2016), <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-016-9513-5>.
- A. Benlalla, M. Elmoussaouiti, M. Dahhou, M. Assafifi, *Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks*, Appl. Clay Sci. 118 (2015) 171–177.
- A. Koohestanian, M. Hosseini, Z. Abbasian, *The separation method for removing of colloidal particles from raw water*, Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 4 (2008) 266–273.
- M. Dahhou, M. El Moussaouiti, N. Khachani, M. Assafifi, L.A. Hsain, S. Mostahsine, K. Bouqallaba. Physico-chemical characterization of sludge from a unit water drinking production. *MATEC Web Conf.* (2012), <http://dx.doi.org/10.1710.1051/ matecconf/20120201017>.
- Zainudin Ibrahim (2008), *Sumber, Permintaan Dan Bekalan Air Domestik 01 Kelantan Utara*, PhD Tesis - Universiti Putra Malaysia
- Siti Nor Hidayatidayu Razali (2019, Ogos 26) - Air Berselut. *Harian Metro*. Diambil semula Februari 10, 2020 dari <https://www.hmetro.com.my/mutakhir/2019/08/489920/air-berselut>
- Adila Sharinni (2019, Ogos 26) - AKSB Henti Lepas Enap Cemar Sejak Tahun Lalu. *Sinar Harian*. Diambil semula Februari 10, 2020 dari <https://www.sinarharian.com.my/article/44962/EDISI/Kelantan/AKSB-henti-lepas-enap-cemar-sejak-tahun-lalu>
- David Molden. (2013). *Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. 1st Edition. London. eBook ISBN: 9781849773799 . Laman web <https://www.taylorfrancis.com/books/9781849773799>.
- Johan Rockstrom. (2013). *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. 1st Edition. London. eBook ISBN: 9781849770521. Laman web <https://www.taylorfrancis.com/books/9781849770521>.
- Yang Farina Abdul Aziz. (2017). UKM - Pusat Penyelidikan dan Analisis Air (ALIR). Petua Mengenai Penjimatan Air, http://www.ukm.my/news/Latest_News/petua-mengenai-penjimatan-air/

- Braden, J.B. (2013). Agricultural sources of water pollution. *Earth Systems and Environmental Science*, 3: 81-85.
- Chan, N.W. (2008). Water watch Penang: Using water demand management (WDM) for water sustainability via changing lifestyle and water use habits. *Water Watch Penang*.
- Kementerian Alam Sekitar dan AIR (KASA). (2020). <https://www.kasa.gov.my/>
- National Hydraulic Research Institute of Malaysia (NAHRIM). (2019). Sistem Penuaian Air Hujan (SPAH). Diperolehi daripada: www.nahrim.gov.my pada 11hb November 2019
- Wan Hanna Melini Wan Mohtar (2018). Berita Harian. Tarikh Keratan Akhbar: 6 Disember 2018. Mengurus sisa sifar secara lestari. <https://www.bharian.com.my/kolumnis/2018/12/505869/mengurus-sisa-sifar-secara-lestari>
- Wan Hanna Melini Wan Mohtar, Khairul Nizam Abdul Maulud, Nur Shazwani Muhammad, Suraya Sharil, Zaher Mundher Yaseen (2019). *Spatial and temporal risk quotient-based river assessment for water resources management*. *Environmental Pollution* 248. page 133-144
- Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara (SPAN). (2019). Majalah Penting: Air & Sisa Kumbahan <http://www.span.gov.my/pdf/penting/jan-2017.pdf>
- Global Environment Centre (GEC). Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara (SPAN). Kementerian Pendidikan Malaysia (2016). Program Konservasi Air Bagi Sekolah-Sekolah Di Malaysia. Modul Konservasi Air. Modul DrH2O. www.riverranger.my/view_file.cfm?fileid=12.pdf
- Jabatan Bekalan Air (JBA). (2019). Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air Malaysia. <http://www.jba.gov.my>
- Jabatan Alam Sekitar (JPS). (2019). Standard Indeks Kualiti Air Tanah Malaysia. <http://www.doe.gov.my>
- Theam Yiew Ooi, Ee Ling Yong, Mohd Fadhil Md Din, Shahabaldin Rezan, Eeydzah Aminudin, Shreeshivadasan Chelliapan, Azlan Abdul Rahman, Junbom Park. (2018). Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology. *Journal of Environmental Management*. pg 13-19.
- Kementerian Kesihatan Malaysia. Standard Kualiti Air Minum Kebangsaan. (2020) Available at <http://engineering.moh.gov.my/v4/download.php?i=43>

- Najri, H.A.M (2015). Pemantauan Kualiti Oleh Operator Air.Forum Air Malaysia. Percetakan Asas Jaya (M) Sdn Bhd., Selangor
- Lim Fang Yee & Md. Pauzi Abdullah (2008). Hubungan Permintaan Klorin Dengan Kualiti Air Mentah. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* Vol. 12 No. 1
- Fatiha Suja', Shahrom Mohd Zain, Hassan Basri. (2001). Analisis ciri fizikal, kimia dan biologi enapcemar kumbahan bagi kaedah pelupusan aplikasi tanah. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, Vol. 7, No. 1 (2001) m.s. 7-11
- Ahmad, T., et al. "Sustainable Management of Water Treatment Sludge through 3'R' Concept." *Journal of Cleaner Production*, vol. 124, 2016, pp. 1–13., doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.073.
- Air Kelantan Sdn. Bhd (AKSB). (2020). Sludge Management. Retrieved date: 20th August 2020. Website: <https://airkelantan.com.my/>
- Ang Kean Hua. (2015). Kualiti sumber air di Malaysia: Satu analisis. *Malaysia Journal of Society and Space* 11 issue 6 (98 - 108)
- Avvannavar SM, Shrihari S (2007) Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Babatunde, A. O., and Y. Q. Zhao. "Constructive Approaches toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 37, no. 2, 2007, pp. 129–164., doi:10.1080/10643380600776239.
- Benlalla, A., E; moussaouiti, M., Dahhou, M., Assafi, M. (2015). Utilization of water treatment plant sludge instructional ceramic bricks. *Applied Clay Science*. Vol. 118. Pg. 171-177
- Chen, H.X., Ma, X.W., Dai, H.J. (2010). Reuse of water purification sludge as raw material in cement production. *Cem. Concrete Compos*. Vol. 32. pg. 436-439
- D.I. Verrelli. (2008). *Drinking Water Treatment Sludge Production and Dewaterability*, University of Melbourne, Australia.
- Gastaldini, A. I.G., Hengen, M.F., Gastaldini, M.C.C., Amaral, F. D., Antolini, M.B., Coletto, T. (2015). The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition. *Construction Building Matter*. Vol. 94. Pg. 513-520.
- Gulraj, B.R., Tyagi, Vinay Kumar (2017). *Sludge Management*, CRC Press Taylor & Francis Group, London

- Indah Water Konsertium (IWK). (2020). Sludge Treatment. Retrieved date: 20th August 2020. <https://www.iwk.com.my/customer/sludge-cycle>
- Kizinievic, O., Zurauskiene, R., Kizinievic, V. (2013). Utilization of sludge waste from waste treatment for ceramic products. *Construction Building Mater.* Vol. 41. Pg 464-473.
- Lim Fang Yee & Md. Pauzi Abdullah (2008). Hubungan Permintaan Klorin Dengan Kualiti Air Mentah. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* Vol. 12 No. 1
- Mohd Asri Md Nor, Alia Syafiqah Abdul Hamed, Faisal Hj Ali, Ong Keat Khim. (2015). Properties and Performance of Water Treatment Sludge (Wts)-Clay Bricks. *Jurnal Teknologi*
- Mohd Faiz Faridzuan Bin Roslan, Noorazuan Md Hashim (2018). Perubahan Kualiti Air Bawah Tanah di Negeri Kelantan Pada Tahun 2010 Hingga 2012. *Jurnal Wacana Sarjana.* Vol. 2(2) Jun 2018: 1- 10
- Nazirul Mubin Zahari, Chua Kok Hua and Lariyah Mohd Sidek. (2014). Feasibility of Alum Sludge as Phosphate Removal. *Applied Mechanical and Materials.* Vol. 567, pg. 62-67
- Nicholas, P.C (2002). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*, Butterworth-Heinemann Publications, USA
- Olga, Cernii. (2016). Sludge treatment from Chisinau Wastewater Treatment Plant. Master Thesis, Faculty of Science, Universidade da Coruna. Republic of Moldova.
- Persatuan Pengguna Air dan Tenaga Malaysia (WECAM). (2017). *Majalah PENTING: Edisi Mac-April 2017. Bagaimanakah Proses Rawatan Enap Cemar?* Pg. 3
- Wolff, E. Schwabe, W.K. Conceicao, S.V., (2015). Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. *Journal of Clean Product.* Vol. 96. pg 282-289
- Yew, P. L., Ren-Haw, T., Siew-Ming, L., Muhammad, F., Chee-Heong, O., Puspanathan, K., Akihiko, M., Fei-Yee, Y., (2017). Evaluation and reutilization of water sludge from fresh water processing plant as a green clay substituent *Applied Clay Science.* Vol. 143. pg. 300-306.
- David, M. and Sutton, C. D. (2012). *Understanding and Managing Organizational Behavior.* United States: Pearson Educatio

- Berg, B., L. and Lune, H. (2012). *Qualitative Research Methods for the Social Sciences*. United States: Pearson Education
- Neumann, E. (1986). Fear of the feminine. *Quadrant: Dalam Journal of the C. G. Jung Foundation for Analytical Psychology*, 19(1).
- Mohd, N. G., (2003). *Penyelidikan Pendidikan*. Johor Bahru: Universiti Teknologi Malaysia
- Patton, M. (2002). *Qualitative Research and Evaluation Methods*. (3 Ed.), California: Sage Publications.
- Hameed, M., Sharqi, S.S., Yaseen, Z.M., Afan, H.A., Hussain, A., Elshafie, A., (2017). Application of artificial intelligence (AI) techniques in water quality index prediction: a case study in tropical region, Malaysia. *Neural Comput. Appl.* 28, 893-905. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2404-7>.
- Hossain, M. a., Sujaul, I.M., Nasly, M. a., (2013). Water quality index : an indicator of surface water pollution in Eastern part of Peninsular Malaysia. *Res. J. Resent Sci.* 2, 10-17.
- Othman. L,(2015). *Penyelidikan Kualitatif: Pengenalan kepada Teori dan Metode*. Tanjong Malim: Penerbit Universiti Pendidikan Sultan Idris.
- Eisner, E. W. (1991). *The Enlightened Eye: Qualitative Inquiry and The Enhancement of Educational Practice*. New York, NY: Macmillan Publishing Company.
- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Edinburgh: Pearson Education Limited.
- Punch, K. F. (2005). *Introduction to social research: Quantitative and qualitative approaches* (2nd ed.). London: SAGE Publication.
- Blaikie, N. (2003). *Analyzing quantitative data from description to explanation*. London: SAGE Publication.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2011). *Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report*. EPA 820-R-11-003
- Chun, M. C., Aroua, M.K., Hussain, M.A., Ismail, W.M.Z.W. (2015). Practical performance analysis of an industrial-scale ultrafiltration membrane water treatment plant. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. page132–139
- Liane Yuri Kondo Nakada, Luciana Urbano dos Santos, Jose Roberto Guimaraes (2020). Pre-ozonation of surface water: An effective water treatment process

to reduce the risk of infection by Giardia in drinking water. *Environmental Pollution*

- Hang Xu, Kunlun Shen, Tonggang Ding, Jianfeng Cui, Mingmei Ding, Chunhui Lu. (2016). Dewatering of drinking water treatment sludge using the Fenton-like process induced by electro-osmosis. *Chemical Engineering Journal* 293. Pages 207–215
- Monteiro, S.N., Alexandre, J., Margem, J.I., Sanchez, R., Vieira, C.M.F., 2008. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. *Constr. Build. Mater.* 22, 1281-1287.
- Muisa, N., Hoko, Z., Chifamb, P., 2011. Impacts of alum residues from Morton Jaffray. water works on water quality and fish, Harare, Zimbabwe. *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C* 36, 853-864.
- Dennis C. Ong, Chi-Chuan Kan, Sheila Mae B. Pingul-Onga, Mark Daniel G. de Luna,. (2017). Utilization of groundwater treatment plant (GWTP) sludge for nickel removal from aqueous solutions: Isotherm and kinetic studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5 pages 5746–5753
- Mohammadali Ebrahimi-Nika, Ava Heidarib, Shamim Ramezani Azghandib, Fatemeh Asadi Mohammadia, Habibollah Younesi. (2018). Drinking water treatment sludge as an effective additive for biogas production from food waste; kinetic evaluation and biomethane potential test. *Bioresource Technology* 260. pages 421–426