

Penilaian Kualiti Air Bawah Tanah di Kelantan dan Pahang, Malaysia (Assessment of Groundwater Quality in Kelantan and Pahang, Malaysia)

WAN SYAIDATUL AQMA^{1*}, SUKIMAN SARMANI², AINON HAMZAH¹, MUHAMAD SAMUDI YASIR², SHAHIDAN RADIMAN², MOHD HARIRI ARIFIN³, KHOO KOK SIONG², FAIZAL MOHAMED² & IRMAN ABDUL RAHMAN²

¹Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

²Jabatan Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

³Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Diserahkan: 28 Februari 2022/Diterima: 3 Ogos 2022

ABSTRAK

Air bawah tanah yang menjadi sumber kegunaan domestik kepada pengguna memerlukan penilaian air bawah tanah bagi mengelakkan berlakunya isu kesihatan. Kajian ini dijalankan untuk menilai kualiti air telaga tiub dalam aspek kandungan logam berat, bahan radioaktif semula jadi (NORM) dan bakteria patogen di Kelantan dan Pahang, Malaysia. Hasil kajian ini menunjukkan kandungan Fe (90-42100 µg/L) dan Mn (3-478 µg/L) yang diperoleh adalah tinggi dan boleh menjejaskan kualiti air secara keseluruhan. Kandungan NORM yang terkandung dalam air telaga adalah 0.02-0.08 Bq/L bagi jumlah pengaktifan Alpha dan 0.02-0.15 Bq/L bagi jumlah pengaktifan beta, yang berada di bawah paras selamat yang telah ditetapkan oleh WHO. Kandungan NORM dalam sampel tanah adalah dalam julat 401-1348 Bq/kg untuk ⁴⁰K, 19-175 Bq/kg untuk ²³²Th dan 28-318 Bq/kg untuk ²³⁸U yang boleh diterima di Malaysia. Anggaran dos sinaran tahunan adalah antara 52 µSv/tahun hingga 379 µSv/tahun dan berada dalam julat selamat untuk orang ramai. Kesemua sampel air dari Kelantan dan dua sampel air dari Pahang mengandungi bakteria enteropatogen terutamanya *Escherichia coli* dan *Salmonella* sp. yang melebihi piawaian Kualiti Air Kebangsaan. Boleh disimpulkan bahawa kualiti air bawah tanah selamat untuk digunakan semasa kecemasan, tetapi ia perlu dirawat sebelum diminum.

Kata kunci: Bahan radioaktif semula jadi (NORM); kualiti air bawah tanah; logam berat; patogen enterik; telaga tiub

ABSTRACT

Groundwater which is a source of domestic use for consumers, requires an assessment to avoid health issues. This study was conducted to evaluate the water quality of tube wells in terms of heavy metal content, natural radioactive material (NORM) and pathogenic bacteria in Kelantan and Pahang, Malaysia. The results of this study showed that the content of Fe (90-42100 µg/L) and Mn (3-478 µg/L) obtained was high and can affect the overall water quality. The NORM content contained in the water is 0.02-0.08 Bq/L for total Alpha activation, and 0.02-0.15 Bq/L for total beta activation that is below the safe level set by WHO. The NORM content in soil samples is in the range of 401-1348 Bq/kg for ⁴⁰K, 19-175 Bq/kg for ²³²Th, and 28-318 Bq/kg for ²³⁸U which are acceptable in Malaysia. Estimated annual radiation doses range from 52 µSv/year to 379 µSv/year, and are in the safe range for the general public. All water samples from Kelantan and two water samples from Pahang contained enteropathogenic bacteria especially *Escherichia coli* and *Salmonella* sp. which exceeds National Water Quality Standards. It can be concluded that the quality of groundwater is safe to use during an emergency, but it should be treated before drinking.

Keywords: Enteric pathogens; groundwater quality; heavy metal; occurring radioactive materials (NORM); tube wells

PENGENALAN

Air bawah tanah di Kelantan telah dibangunkan sebagai bekalan air minum semenjak 1935 dan kini terdapat 82

telaga pengeluaran di 13 buah medan telaga di kawasan Kelantan Utara dengan bekalan sebanyak 165 juta liter sehari pada tahun 2010 dan meningkat pada kadar 2.5%

setahun (NAHRIM 2014). Air bawah tanah merupakan sumber air penting di negeri Kelantan dan Perlis kerana terdapat banyak akuifer dengan aras air yang rendah (Issa 2011). Kajian oleh Ismail dan Anuar (2010) menunjukkan 75% penduduk di hilir Lembangan Kelantan bergantung kepada air bawah tanah untuk kegunaan domestik, pertanian dan perindustrian. Selain aktiviti antropogen, banjir juga merupakan ancaman kepada kualiti air bawah tanah kerana hujan lebat yang berpanjangan boleh meningkatkan air larian daripada pertanian dan membawa bahan mikrobiologi ke dalam sungai, air kosta serta telaga air bawah tanah (Semenza & Menne 2009). Keadaan banjir yang melampau telah dikenal pasti sebagai punca utama wabak penyakit berjangkit berkaitan cuaca (Cann et al. 2013). Risiko jangkitannya lebih tinggi daripada sumber air bawah tanah berbanding sumber air permukaan di kawasan berpenduduk rendah (Kazama et al. 2012).

Antara kesan banjir adalah perpindahan sedimen terampai dan termendak di kawasan hilir. Logam berat terlarut dan bakteria pembawa penyakit yang berada dalam air banjir meresap ke dalam tanah dan boleh mencemar air bawah tanah. Perpindahan bahan pencemar dari air permukaan seperti sistem kumbahan, kawasan sisa toksik serta kawasan pelupusan sampah boleh mencemarkan air bawah tanah ketika banjir dan membahayakan penggunaan air bawah tanah (Sefie et al. 2015). Logam berat yang terdapat dalam tanah dan sedimen juga akan terlarut dan dihanyutkan sebagai pepejal terampai dalam air banjir (Baborowski & Inax 2016). Antaranya, logam berat telah dianggap sebagai ancaman yang berpotensi kerana ia boleh menyusup jauh ke dalam sumber air bawah tanah dan boleh memberi kesan yang memudaratkan kepada semua organisma hidup dengan menganggap bahawa tahap pendedahan adalah melebihi paras ambang tertentu (Prabhakaran et al. 2016). Di samping itu, keradioaktifan air bawah tanah yang disumbangkan oleh radiourosid dalam batuan dan sedimen, yang hanya berlaku apabila ia terlarut atau terlarut keluar daripada batuan punca dan/atau sedimen dan berterusan dalam larutan juga mempunyai risiko (Missimer et al. 2019). Bahan pencemar radionuklid pemancar Alfa termasuk radium dan uranium boleh dipindahkan ke dalam air dan dianggap sebagai radionuklid paling berbahaya apabila diminum (Winde 2013). Radionuklid ini boleh mengakibatkan kesan biologi yang buruk contohnya, perubahan pada bahan genetik dan struktur tulang yang boleh menyebabkan kanser apabila diminum dalam kuantiti yang banyak (Canu et al. 2011).

Bekalan air bersih sangat penting kerana kebanyakan penyakit bawaan bakteria disebarkan melalui air seperti taun (*Vibrio cholerae*), gastroenteritis, demam tifoid dan paratifoid, (*Salmonella*) dan shigellosis atau disenteri basillus (*Shigella*) (Kristanti et al. 2022). Kualiti air minuman ditentukan dengan kehadiran bakteria koliform tinja iaitu *Escherichia coli* yang berasal daripada tinja manusia dan haiwan boleh mencemari sumber air bawah tanah dan air sungai. Jabatan Alam Sekitar Malaysia menetapkan bakteria koliform jumlah dan koliform tinja sebagai petunjuk kualiti air dalam Piawai Kualiti Air Kebangsaan (DOE 2014) selaras dengan petunjuk kualiti air di seluruh dunia. Nilai petunjuk patogen tinja yang dibenarkan ialah 0 untuk *E. coli* per 100 mL sampel air. Nilai petunjuk lain seperti enterokokki dan koliform jumlah ialah 0 per 100 mL sampel air (WHO 2022). Selain daripada *E. coli* sebagai petunjuk utama pencemaran, *Salmonella* juga ditentukan kerana ia mewakili bakteria yang dikaitkan dengan gastroenteritis kerana wabak penyakit demam kepialu yang disebabkan oleh *Salmonella typhimurium* sering dikaitkan dengan penggunaan air atau makanan yang tercemar dengan kumbahan (WHO 2022).

Bagi menilai impak banjir besar kepada kesihatan penduduk setempat maka kajian ini dilakukan untuk menentukan kandungan unsur toksik dalam air bawah tanah di kawasan yang dilanda banjir. Sampel air bawah tanah diambil daripada telaga tiub yang dibina oleh Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dan Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG). Parameter kualiti air yang dikaji ialah logam berat, bahan radioaktif tabii (NORM) dan bakteria pembawa penyakit. Kawasan hulu Kelantan turut dikenali mengandungi uranium dan torium yang tinggi maka analisis kepekatan bahan radioaktif tabii seperti ^{40}K , ^{232}Th dan ^{238}U juga dilakukan bagi mengesan kepekatan bahan tersebut.

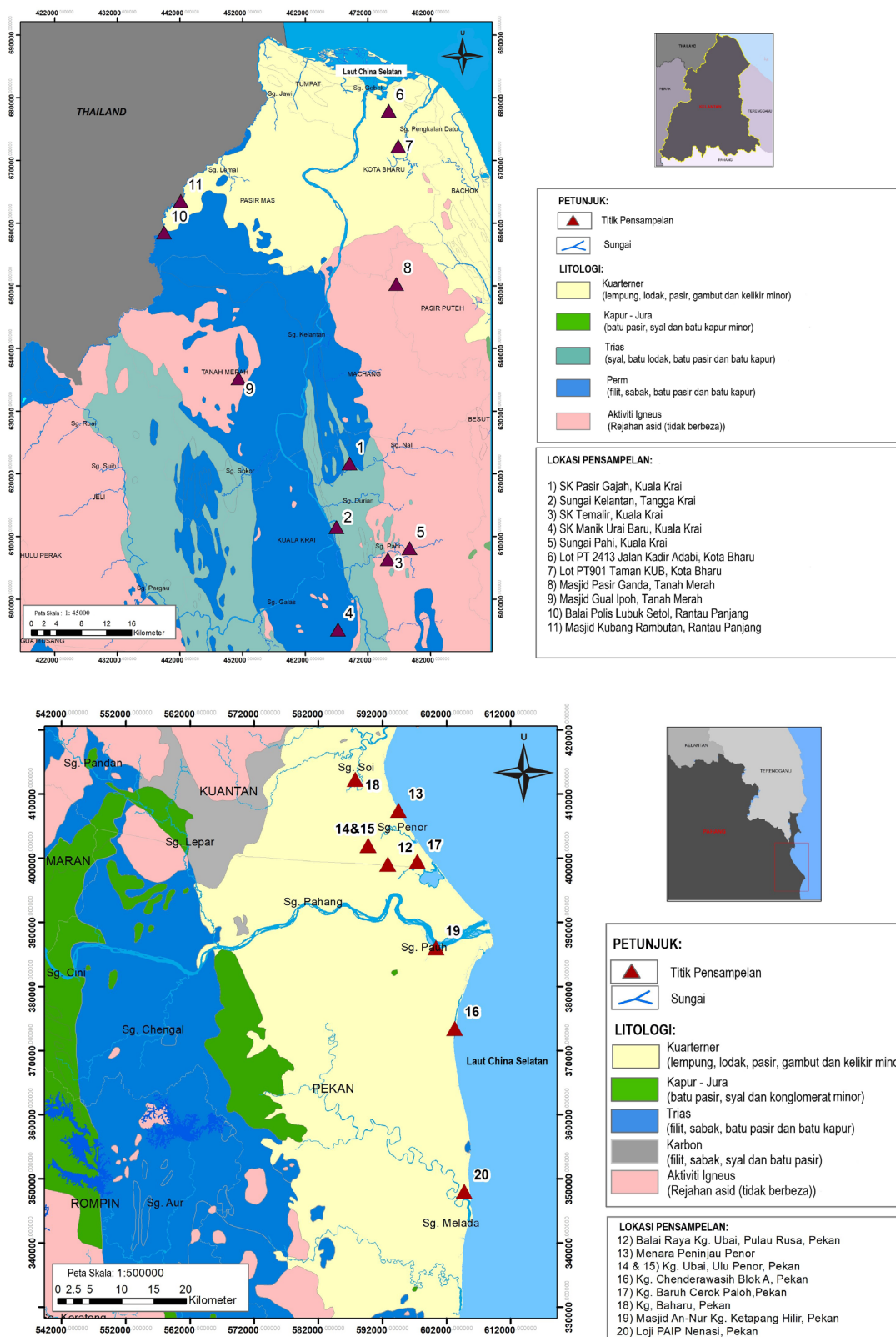
BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN KAJIAN DAN PERSAMPELAN

Sampel air diambil pada Mei-Ogos 2015 (pasca banjir) daripada perigi tiub baru dibina oleh Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) dan perigi tiub lama yang dibina oleh Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG) di Daerah Kuala Krai, Kota Bharu, Tanah Merah dan Rantau Panjang di Negeri Kelantan, manakala di Negeri Pahang pula kajian dilakukan ke atas kualiti air perigi tiub JMG di Daerah Kuantan dan Pekan (Rajah 1). Parameter fizikal air bawah tanah secara *in situ* melibatkan cerapan maklumat keasidan (nilai pH),

konduktiviti ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dan oksigen terlarut (DO) telah dilakukan dengan menggunakan alat pengukur iaitu YSI *Multi Probe System 556* MPS. Penentuan logam berat

dan keradioaktifan sampel air diambil di dalam 2 botol plastik ukuran 5 liter dan ditambah beberapa titik asid nitrik pekat untuk mengekalkan kandungan ion.



RAJAH 1. Peta lokasi persampelan air bawah tanah dan maklumat geologi di a) Kelantan dan b) Pahang

ANALISIS LOGAM BERAT DAN KERADIOAKTIFAN

Sebanyak 100 mL sampel air dituras menggunakan penuras membran untuk analisis logam berat menggunakan kaedah *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS). Sebanyak 1 kg sampel tanah diambil di lapangan dan diproses di dalam makmal untuk membuang bendasing yang nyata dan berat basah dicatat dan dikeringkan pada suhu 105 °C semalaman. Setelah sampel sejuk berat keringnya ditentukan, sampel kemudiannya dihancurkan dengan menggunakan mortar dan diayak menggunakan penapis bersaiz 0.5 mm. Sampel yang diketahui berat masing-masing dimasukkan ke dalam botol pembilang kedap udara dan disimpan selama 30 hari bagi mencapai keseimbangan sekular. Analisis keradioaktifan dalam sampel tanah ditentukan dengan menggunakan sistem spektrometri gama yang terdiri daripada pembilang gama HPGe (Tennelec) dan penganalisis multisaluran berasaskan komputer peribadi untuk analisis keradioaktifan. Kandungan keradioaktifan dalam sampel ditentukan secara kaedah bandingan menggunakan Bahan Rujukan Piawai (SRM) *Soil-375* (IAEA) sebagai piawai. Masa pembilang sampel dan piawai adalah selama 12 jam. Untuk penentuan jumlah keaktifan tentu Alfa dan Beta, sebanyak 4 mL air terturas dipindahkan ke vial sintilasi. Kemudian, sebanyak 16 mL campuran yang mengandungi; toluene (4.0 g 2,5-diphenyloxazole dan 0.4 g 1,4-bis-(5-phenyl-oxazolyl-2)-benzene) dan Triton N101 dicampurkan ke dalam vial tersebut. Selepas dikacau, vial tersebut ditinggalkan semalaman sebelum disediakan untuk analisis menggunakan Kaunter Sintilasi Cecair (LSC) menggunakan mod Alfa dan Beta dan tahap diskriminasi ditetapkan pada 120 minit (Hamzah et al. 2011).

ANALISIS MIKROBIOLOGI

Kandungan bakteria ditentukan dengan menggunakan kaedah turasan membran mengikut kaedah piawai (APHA 2012). Sampel air terlebih dahulu dituras dengan menggunakan penuras membran bersaiz liang 0.45 µm. Pencairan dilakukan menggunakan larutan normal salin steril. Membran diletakkan di atas agar Chromocult untuk penentuan bakteria koliform jumlah dan koliform tinja. Membran juga diletakkan di atas agar *Salmonella-Shigella* untuk penentuan bakteria *Salmonella-Shigella* dan agar hitungan plat (PCA) untuk penentuan keseluruhan bakteria heterotrofik. Kesemua piring petri dieram pada suhu 37 °C selama 24-48 jam. Setiap koloni bakteria ditentusahkan dengan menggunakan kit komersial API 20E/20NE dan agar eosin metilina biru (EMB) untuk pengesahan *E. coli*.

Pengenalpastian bakteria juga dilakukan menggunakan kaedah penjujukan 16s rRNA.

ANALISIS STATISTIK

Perbandingan data di antara lokasi di Kelantan dan Pahang dianalisis menggunakan Mann-Whitney U test menggunakan perisian SPSS 8.0.

HASIL DAN PERBINCANGAN

KANDUNGAN LOGAM BERAT

Keselamatan air di Malaysia dipantau berasaskan *Malaysian Raw Water Quality Criteria* (RWQC) dan garis panduan *Drinking Water Quality Standard* (DWQS) yang ditetapkan oleh Kementerian Kesihatan Malaysia (Jadual 1) dan antara parameter yang ditetapkan ialah ammonia < 1.5 mg/L, As < 0.01 mg/L, Cu < 1.0 mg/L, Fe < 0.3 mg/L, Mn < 0.1 mg/L, nitrat < 10.0 mg/L, Pb < 0.01 mg/L, sulfat < 250 mg/L, Cr < 0.05 mg/L dan Zn < 3 mg/L. Sebanyak 10 jenis logam berat telah dianalisis dalam sampel air telaga tiub dan unsur As, Fe, Mn dan Pb berada pada kepekatan tinggi manakala unsur lain seperti Cd, Cu, Cr, Th dan U berada pada paras latar (Jadual 2). Kebanyakan sampel dari negeri Pahang juga mengandungi Al yang tinggi akibat daripada pemineralan bauksit di kawasan tersebut. Pencemaran air bawah tanah disebabkan oleh pertumbuhan pesat industri di kawasan tersebut dan juga kegiatan agroindustri (Abdullah et al. 2016). Kajian terdahulu bagi sampel air bawah tanah daripada Sembilan telaga tiub Jabatan Mineral dan Galian (JMG), loji rawatan air Air Kelantan Sdn. Bhd. (AKSB) dan *National Hydraulics Research Institute of Malaysia* (NAHRIM) menunjukkan sampel air bawah tanah di Kelantan mengandungi Fe yang tinggi (Akbar et al. 2015). Kajian di Sungai Kerian, Kelantan juga mendapati kepekatan Fe melebihi piawai yang ditetapkan oleh Kementerian Kesihatan Malaysia (melebihi 1.0 mg/L). Kajian juga menunjukkan kandungan Fe dalam air telaga tiub lebih tinggi daripada air sungai (Ibrahim et al. 2015). Bahan pencemar boleh terhasil melalui interaksi air dengan batuan yang terluluhawa, juga daripada air hujan yang boleh melarutkan serta mengalirkan ion unsur logam ke dalam telaga tiub (Mohd Rawi et al. 2020). Hasil kajian kebanyakan lokasi mempunyai kandungan Fe dan Mn yang tinggi dan melebihi piawaian terutamanya lokasi di daerah Pekan. Walaupun Fe dan Mn tidak membahayakan kesihatan pada kepekatan tinggi namun kualiti estetika air kerana warna, bau dan rasa air telah berubah (Jusoh et al. 2005).

JADUAL 1. Parameter fiziko-kimia kualiti air bawah tanah di Kelantan dan Pahang

Lokasi		Parameter kualiti air		
KELANTAN		pH	Konduktiviti (mS/cm)	Oksigen terlarut (DO) (mg/L)
1.	SK Pasir Gajah, Kuala Krai, N 05°37.262' E 102°12.786'	6.23	0.123	6.23
2.	Sungai Kelantan, Tangga Krai, N 05°31.826' E 102°11.763'	6.10	0.140	4.73
3.	SK Temalir, Kuala Krai, N 05°28.936' E 102°15.855'	5.75	0.050	4.73
4.	SK Manik Urai Baru, Kuala Krai, N 05°22.781' E 102°11.763'	6.40	0.350	1.62
5.	Sungai Pahi, Kuala Krai, N 05°28.548' E 102°13.350'	5.56	4.950	4.95
6.	Lot PT 2413 Jalan Kadir Adabi, Kota Bharu N 06°07.756' E 102°16.180'	5.49	0.180	5.10
7.	Lot PT901 Taman KUB, Kota Bharu N 06°04.422' E 102°16.809'	7.12	0.11	3.92
8.	Masjid Pasir Ganda, Tanah Merah N 05°52.699' E 102°16.809'	6.22	0.074	5.31
9.	Masjid Gual Ipoh, Tanah Merah, N 05°44.567' E 102°03.152'	5.91	0.030	4.67
10.	Balai Polis Lubuk Setol, Rantau Panjang N 05°57.249' E 101°56.736'	6.23	0.080	2.84
11.	Masjid Kubang Rambutan, Rantau Panjang N 05°59.850 E 101°58.33'	6.35	0.056	4.93
PAHANG				
12.	Balai Raya Kg. Ubai, Pulau Rusa, Pekan N 03°36.307' E 102°19.703'	6.05	0.130	3.6
13.	Menara Peninjau Penor N 3°41'18.12 E 105°47'28.73"	5.90	0.148	7.59
14.	Kg. Ubai A, Ulu Penor, Pekan N 3°38.235' E 103°18.0536'	6.57	0.159	2.45
15.	Kg. Ubai B, Ulu Penor, Pekan N 3°38.235' E 103°18.0536'	6.58	0.129	2.20
16.	Kg. Chenderawasih Blok A, Pekan N 03°22.405' E 103°26.257'	4.72	0.164	1.28
17.	Kg. Baruh Cerok Paloh, Pekan N 3°36.75' E 105°51.833'	6.36	0.532	2.16
18.	Kg. Baharu, Pekan N 3°23.698' E 105°55.632'	6.22	1.603	2.52
19.	Masjid An-Nur Kg. Ketapang Hilir, Pekan N 3°29.3567' E 103°24.1187'	6.58	2.99	2.20
20.	Loji PAIP Nenasi, Pekan. N 03°08.800' E 103°26.257'	6.40	1.21	3.17

JADUAL 2. Kandungan logam berat di dalam sampel air di Kelantan dan Pahang ($\mu\text{g/L}$)

Unsur	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Th	U
KELANTAN										
SK Pasir Gajah, Kuala Krai		1.19 ± 0.02	0.77 ± 0.06			142.5 ± 8.1	4.83 ± 0.32	5.02 ± 0.08	0.03 ± 0.02	0.17 ± 0.02
SK Temalir, Kuala Krai		0.21 ± 0.44	0.23 ± 0.03			44.64 ± 0.49	109.17 ± 0.76	n. d	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.01
SK Manik Urai, Kuala Krai		0.32 ± 0.01	0.49 ± 0.01			645 ± 41	702 ± 30	3.03 ± 0.1	0.74 ± 0.01	0.15 ± 0.01
Masjid Pasir Ganda, Tanah Merah		0.24 ± 0.02	0.09 ± 0.01			69.63 ± 1.36	25.68 ± 7.81	5.12 ± 0.35	0.02 ± 0.01	0.08 ± 0.01
Masjid Gual Ipoh, Tanah Merah		0.19 ± 0.02	0.08 ± 0.01			143.6 ± 14.9	19.37 ± 0.75	7.13 ± 0.34	0.02 ± 0.01	0.19 ± 0.01
Balai Polis Lubuk Stol, Rantau Panjang		0.18 ± 0.01	0.05 ± 0.01			341.7 ± 12.6	74.56 ± 2.01	6.04 ± 0.36	0.06 ± 0.01	0.08 ± 0.01
Sg. Kelantan, Tangga Krai		1.57 ± 0.09	0.02 ± 0.01			2291 ± 67	14.04 ± 1.87	2.77 ± 0.16	0.05 ± 0.01	0.26 ± 0.02
PAHANG										
Masjid Ketapang Hilir, Pekan	40.43 ± 0.20	36.13 ± 1.02	0.02 ± 0.01	11.55 ± 0.31	17.00 ± 0.61	1568 ± 21	38.26 ± 0.08	0.85 ± 0.02	0.42 ± 0.01	0.06 ± 0.01
Kg. Chenderawasih, Pekan	1308 ± 15	0.46 ± 0.01	0.05 ± 0.01	3.29 ± 0.21	12.11 ± 0.22	5026 ± 86	81.79 ± 0.89	3.62 ± 0.09	1.25 ± 0.04	0.35 ± 0.01
Loji PAIP Nenasi, Pekan	3.13 ± 0.22	2.25 ± 0.26	0.01 ± 0.01	4.34 ± 0.04	4.79 ± 0.01	147 ± 4	154 ± 1	0.02 ± 0.02	0.024 ± 0.001	0.063 ± 0.010
Telaga Tiub JMG Nenasi, Pekan	34.0 ± 1.1	1.02 ± 0.07	0.04 ± 0.01	1.89 ± 0.18	21.94 ± 0.83	2694 ± 61	188 ± 2	2.18 ± 0.12	2.87 ± 0.21	0.18 ± 0.02
Menara Peninjau, Penor, Kuantan	1577 ± 19	32.25 ± 0.75	0.70 ± 0.01	9.51 ± 0.07	65.48 ± 0.14	42104 ± 570	447 ± 4	143.7 ± 2.39	13.28 ± 1.52	15.33 ± 0.14
Kg. Baruh, Cherok Paloh, Kuantan	109 ± 1	0.64 ± 0.03	0.02 ± 0.01	2.45 ± 0.10	16.17 ± 0.02	23649 ± 723	478 ± 12	3.57 ± 0.06	1.79 ± 0.01	0.342 ± 0.06
Kg. Baharu, Pekan	34.7 ± 1.3	1.47 ± 0.18	0.02 ± 0.01	7.79 ± 0.75	12.76 ± 0.11	10677 ± 166	369 ± 6	1.60 ± 0.03	0.77 ± 0.02	0.21 ± 0.02

Umumnya sampel negeri Kelantan mengandungi As jauh lebih rendah berbanding sampel negeri Pahang (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$). Ini disebabkan telaga tiub Kelantan digunakan secara kerap manakala telaga tiub Pahang jarang digunakan dan bersifat sebagai telaga tiub pemantauan kemasukan air masin. Pemantauan kandungan As di dalam air bawah tanah adalah penting kerana boleh membawa kesan kesihatan seperti arsenikosis yang dialami oleh penduduk Lembangan Bengal dan Lembangan Mekong yang menggunakan air bawah tanah dengan kandungan As tinggi (Ha et al. 2016; Taylor et al. 2014). Unsur logam berat lain masih berada pada kepekatan latar namun pemantauan berkala masih diperlukan memandangkan pertumbuhan industri yang pesat di Daerah Pekan. Kajian kandungan Al dalam air sungai dan air telaga tiub juga dilakukan di Daerah Kuantan yang kaya dengan sumber mineral bauksit dan hasil kajian mendapati tidak semua sumber air menunjukkan peningkatan logam Al tetapi hanya beberapa lokasi yang mengandungi Al dalam sampel air bawah tanah. Ini sering berlaku di kawasan tanah gambut kerana pH air agak rendah sekitar pH 4.7 - pH 5.8 pada keadaan berasid Al lebih mudah terlarut membentuk ion. Loji rawatan air Nenasi yang merawat air bawah tanah untuk kegunaan domestik berjaya menghasilkan air minum yang mematuhi piawai walaupun dengan menggunakan kaedah rawatan konvensional. Bagi mendapatkan gambaran punca logam berat dalam sampel air bawah tanah dan air permukaan, kandungan unsur logam berat dalam sampel tanah dan sedimen sungai juga dipantau (Jadual 3). Fe merupakan unsur utama dalam kerak bumi, ini menyokong kandungan Fe yang tinggi di dalam sedimen atau tanah bagi kedua-dua negeri yang dikaji. Melalui proses biogeokimia juga unsur logam berat seperti Fe, Mn dan As terdapat dalam air bawah tanah. Kandungan Th dan U di dalam sedimen sungai atau sedimen terampai yang mendap di permukaan tanah jauh lebih tinggi daripada kandungan dalam sampel tanah. Ini menunjukkan berlakunya perpindahan dan penumpukan U dan Th melalui aliran air banjir.

KANDUNGAN BAHAN RADIOAKTIF

Hasil kajian menunjukkan kandungan bahan radioaktif tabii dalam sampel air telaga tiub yang diukur berdasarkan jumlah keaktifan tentu Alfa dan Beta ditunjukkan dalam Jadual 4. WHO dan Kementerian Kesihatan Malaysia menetapkan kandungan bahan radioaktif dalam air minuman tidak melebihi 0.1 Bq/L bagi keaktifan alfa jumlah dan 1 Bq/L bagi keaktifan beta jumlah. Had ini diasaskan pengambilan bahan radioaktif melalui air minuman mesti kurang daripada 0.1 mSv/th dalam Garis Panduan WHO itu dihitung berdasarkan pengambilan air minum sebanyak 2 liter sehari. Hasil

kajian menunjukkan kandungan bahan radioaktif tabii dalam air telaga tiub berada dalam keadaan selamat untuk diminum. Walau bagaimanapun, sampel dari Menara Peninjau Penor, Kuantan menunjukkan aras tiga kali ganda lebih tinggi. Kawasan tersebut merupakan tanah gambut yang lazimnya tinggi kandungan bahan organik termasuk ^{40}K . Nilai yang diperoleh adalah sepadan dengan sampel air Johor Bahru dengan jumlah keaktifan tentu alfa dan beta dalam air adalah masing-masing 0.012 ± 0.003 dan $0.234 \pm 0.018 \text{ Bq L}^{-1}$ (Saleh et al. 2015). Kandungan yang rendah sebegini mungkin kerana telaga tiub tersebut hanya pada kedalaman sekitar 30 m. Walaupun dikelaskan sebagai air bawah tanah namun tidak dikelas sebagai air mineral. Perbezaan tahap kandungan radioaktif antara sampel dari lokasi yang berbeza mungkin disebabkan oleh ciri geologi tanah yang berbeza yang boleh mempengaruhi keradioaktifan air (Miao et al. 2013).

Analisis sampel tanah dan sedimen sungai di kawasan kajian mendapati sampel sedimen dari Sungai Pahi menunjukkan dos sinaran yang paling tinggi diikuti oleh Sg. Golok, Masjid Gual Ipoh, Sg. Pahang dan Kg. Acheh, Pekan manakala dos paling rendah pula adalah dari Sekolah Kebangsaan Manik Urai Baru, Kuala Krai. Bagi kebanyakan kawasan di Malaysia, radionuklid ^{232}Th adalah penyumbang utama kadar dos gama. Kajian di kawasan yang tinggi kandungan NORM seperti Daerah Segamat menunjukkan kadar dos dedahan adalah 276 nGy^{-1} dan kadar dos setara tahunan 1.169 mSv (Salleh et al. 2013). Sanusi et al. (2014) dalam kajian penentuan dos sinaran bagi negeri Selangor, Kuala Lumpur dan Putrajaya mendapati kadar dos sinaran berada pada julat dari 17 nGy^{-1} hingga 500 nGy^{-1} dengan min pada $182 \pm 81 \text{ nGy}^{-1}$. Bagi keseluruhan negeri Pahang kadar dos berada pada julat $26 - 750 \text{ nGy}^{-1}$ dengan bacaan min pada $176 \pm 5 \text{ nGy}^{-1}$. Bagi daerah seperti Raub, Temerloh, Bentong dan Rompin kadar dos sinar gama pada julat $500 - 750 \text{ nGy}^{-1}$. Dianggarkan kadar dos berkesan tahunan ialah 0.22 mSv (Gabdo et al. 2014).

Sebagai perbandingan nilai min dos sinaran global ialah $330 \pm 8 \text{ nGy/j}$ manakala Malaysia ialah 92 nGy/j (UNSCEAR 2000). Kajian ini menunjukkan dos sinaran Sekolah Kebangsaan Manik Urai Baru, Kuala Krai pada 37 nGy/j adalah paling rendah dan berada di bawah kadar sinaran latar Malaysia. Bagi kawasan Sungai Pahang, Sungai Kuantan, Sungai Kelantan, Sungai Pahi dan Sungai Golok walaupun nilainya tinggi tetapi masih berada dalam julat min dos sinaran global 330 nGy/j (Jadual 5). Data dilaporkan selari dengan hasil oleh Garba et al. (2015), dengan purata nilai kadar dos sinaran bagi sungai-sungai utama di Kelantan adalah 312.98 nGy/j . Walaupun terdapat pemindahan NORM daripada bahagian hulu namun aras dos sinaran masih di bawah aras selamat bagi orang awam.

JADUAL 3. Kandungan logam berat di dalam sampel tanah dan sedimen di Kelantan dan Pahang (mg/kg)

Unsur	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Th	U	V	Zn
KELANTAN															
Sg. Kelantan		80.62 ±4.41	0.31 ±0.02	20.55 ±0.20	40.23 ±0.49	39.12 ±0.46	45610 ±600		2212 ±33	16.32 ±0.19		28.36 ±0.29	5.39 ±0.07	276 ±4	116.3 ±3.4
SK Manik Urai Baru, K. Krai		72.19 ±0.33	0.21 ±0.01	25.67 ±0.42	59.64 ±1.26	68.92 ±0.38	106226 ±680		1495.5 ±33.8	15.85 ±0.24		6.46 ±0.03	1.06 ±0.10	445.7 ±1.2	108.53 ±0.88
Sg. Pahi, Kuala Krai		67.78 ±0.43	0.19 ±0.02	3.43 ±0.03	14.33 ±0.13	19.43 ±0.15	15803 ±406		486.40 ±2.85	7.07 ±0.16		47.29 ±1.56	7.72 ±0.36	201.1 ±1.2	92.49 ±2.75
Padang Awam, Taman Barakah, T. Merah		68.96 ±0.75	0.24 ±0.01	18.38 ±0.45	68.08 ±0.29	65.07 ±0.51	108152 ±3911		643.39 ±13.32	9.64 ±0.02		15.89 ±0.09	2.63 ±0.05	589.5 ±2.8	116.91 ±0.51
Masjid Gual Ipoh, T. Merah		68.78 ±0.40	0.16 ±0.02	1.11 ±0.01	30.57 ±0.05	22.85 ±0.14	27730 ±1044		113.39 ±1.70	11.02 ±0.06		50.56 ±1.26	3.02 ±0.07	271.2 ±0.03	154.67 ±3.33
Sg. Golok Balai Polis Lubok Stoi, R. Panjang		67.16 ±0.12	0.16 ±0.04	9.72 ±0.31	61.37 ±1.30	26.67 ±0.83	33766 ±62		366.76 ±1.25	20.16 ±0.64		48.35 ±0.21	8.45 ±0.15	292.8 ±35.4	123.52 ±2.75
PAHANG															
Sg. Pahang, Bandar Temerloh.	6162 ±320	66.57 ±3.34	0.34 ±0.04		21.18 ±0.53	29.41 ±0.37	16086 ±4	0.07 ±0.03	301.8 ±1.6		33.03 ±1.17	30.41 ±0.23	6.92 ±0.22		126.7 ±1.6
Felda Bukit Goh, Kuantan	24063 ±558	33.11 ±0.22	0.38 ±0.05		482.9 ±7.1	96.67 ±0.63	170566 ±588	0.39 ±0.01	331.2 ±15.2		15.78 ±0.73	19.96 ±0.37	2.74 ±0.01		121.69 ±2.34
Sg. Kuantan, Loji Kg. Padang, Kuantan	6179 ±289	40.21 ±0.55	0.23 ±0.02		33.28 ±1.57	78.60 ±0.43	18061 ±566	0.02 ±0.02	117.70 ±4.71		27.41 ±1.38	12.05 ±0.19	1.66 ±0.01		77.38 ±1.49
Muara Sg. Balok,	6070 ±275	47.65 ±1.22	0.14 ±0.02		28.09 ±0.58	28.92 ±0.58	18312 ±402	0.05 ±0.02	215.55 ±3.71		22.86 ±0.62	9.48 ±0.39	0.95 ±0.02		84.04 ±1.19
Sg. Riau, Muka Sauk Loji Bukit Goh, Kuantan	7673 ±194	39.95 ±2.18	0.45 ±0.01		32.80 ±0.84	20.78 ±0.63	23122 ±718	0.08 ±0.02	91.58 ±0.24		31.05 ±0.75	15.67 ±0.62	1.31 ±0.05		72.41 ±1.98
Sg. Batu, Muka Sauk, Loji Bukit Sagu, Kuantan	4482 ±6	35.52 ±1.89	0.24 ±0.01		12.41 ±0.98	71.27 ±0.87	13917 ±579	0.10 ±0.01	203.58 ±2.06		24.82 ±0.70	9.90 ±0.02	1.48 ±0.01		85.21 ±2.94

KANDUNGAN BAKTERIA

Bagi parameter mikrobiologi, Jabatan Alam Sekitar Malaysia (DOE 2014) telah menetapkan menerusi Piawai Kualiti Air Kebangsaan kandungan koliform tinja dan koliform jumlah di dalam air Kelas 1 (bekalan air-tanpa rawatan) masing-masing adalah 10 dan 100 cfu/100 mL. Manakala menurut Garis Panduan Kebangsaan bagi Kualiti Air untuk Minuman 2000 (NGDWQ) (DOE 2014), bilangan koliform jumlah untuk air bawah tanah mestilah tidak dikesan dalam 100 mL sampel. Hasil kajian menunjukkan bilangan bakteria koliform tinja (*E. coli*) hadir pada semua lokasi dan bilangan tertinggi di Masjid Gual Ipoh, Tanah Merah iaitu 1590 cfu/100 mL. Bilangan koliform tinja ini melebihi nilai NWQS dan NGDWQ. *Salmonella* atau *Shigella* juga hadir pada semua lokasi persampelan kecuali Masjid Pasir Ganda, Tanah Merah. Data hasil kajian ini menunjukkan air bawah tanah di kebanyakan daerah di Kelantan ini tidak boleh digunakan sebagai air minuman jika tidak dirawat (DOE 2014) (Jadual 6).

Hasil pemerhatian di kawasan sekitar persampelan di negeri Kelantan mendapati sumber utama yang menyebabkan kehadiran bakteria koliform tinja dan koliform jumlah adalah kedudukan tandas yang berhampiran dengan perigi tiub yang dibina (sekitar 5 meter). Kebanyakan tandas di negeri Kelantan tidak mempunyai sistem pembentungan yang sempurna. Tandas jenis gali ini dibina berdekatan dengan perigi tiub yang menyebabkan berlaku proses pergerakan air yang membawa bakteria ke sumber air bawah tanah. Penilaian kualiti air perlu dititikberatkan memandangkan data daripada Ismail dan Anuar (2010) menunjukkan 75% daripada populasi di Kelantan Bawah bergantung kepada punca air bawah tanah sebagai sumber air untuk kegunaan harian, pertanian dan aktiviti industri. Pada tahun 2009, penggunaan air bawah tanah dianggarkan mencecah 146 juta liter/hari dan permintaan terhadap keperluan air bawah tanah dijangkakan akan meningkat. Kajian oleh Lin et al. (2010) di Pulau Tiga, Sabah, juga menunjukkan kualiti air bawah tanah yang kotor dan bilangan koliform jumlah tinja melebihi had nilai NGDWQ.

Hasil kajian telaga tiub di negeri Pahang menunjukkan tiada kehadiran *E. coli* kecuali di Kg. Baharu dan Kg. Chenderwasih, Pekan tetapi di dalam jumlah yang rendah. Di Kampung Baharu terdapat beberapa rumah dan tandas yang dibina

berdekatan dengan sumber air. Manakala di Kampung Cenderwasih, tanahnya jenis gambut dan terdapat penempatan penduduk sekitar 30 keluarga kira-kira 150 m dari perigi tiub. Kehadiran *E. coli* mungkin disebabkan berlaku proses peresapan air dari tandas ke sumber air bawah tanah tetapi dalam kadar yang sedikit. Kehadiran bakteria air bawah tanah yang lain seperti *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Serratia marcescens* dan *Pseudomonas luteola* menunjukkan bakteria yang sama juga hadir pada air bawah tanah di negeri Kelantan dan Pahang. Menurut Cabral (2010), bakteria yang paling banyak hadir dalam tinja manusia adalah *Bacteroides* iaitu dalam 20-30% bakteria yang boleh dikultur. Bakteria dalam kumpulan *Enterobacteriaceae* yang lazim hadir adalah *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Proteus* dan *Enterobacter* selari dengan bakteria yang ditemui dalam kajian ini. Manakala *Citrobacter* dan *Klebsiella* hadir dalam kebanyakan individu walaupun dalam jumlah yang sedikit. Bakteria Gram negatif rod (*Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Neisseria* dan *Moraxella*) didapati hadir dengan banyak (80%) di dalam air bawah tanah, manakala Gram positif rod dalam jumlah yang sedikit (Chapelle 2000). Hasil kajian ini juga membuktikan terdapat kehadiran bakteria Gram negatif yang banyak terutama di dalam sumber air bawah tanah di Kelantan.

Kajian air bawah tanah oleh Issa et al. (2012) dari beberapa lokasi di negeri Perlis dengan formasi geologi berbeza iaitu formasi batu kapur Chuping, formasi batu kapur Setul, formasi Tertier Bukit Arang dan formasi Kubang Pasu-Singa menunjukkan adanya koliform jumlah (<20 cfu/100 mL) dan koliform tinja (<40 cfu/100 mL) yang melebihi had yang ditetapkan dalam Piawai kualiti Air Minuman (DWQS). Begitu juga dengan keadaan air bawah tanah Pulau Tiga Sabah yang melebihi had selamat WHO iaitu koliform jumlah (<70 cfu/100 mL) dan koliform tinja (<40 cfu/100 mL) (Lin et al. 2010). Laporan tahunan kualiti alam sekitar Malaysia (DOE 2014) juga melaporkan nilai koliform jumlah yang dipantau pada telaga air bawah tanah di negeri Kelantan melebihi 100% daripada nilai yang dibenarkan oleh NGDWQ. Dalam kajian ini antara faktor yang menyebabkan kontaminasi air bawah tanah oleh bakteria akibat banjir kerana sistem sanitasi tidak baik, tiada sistem pelupusan sisa kumbahan, telaga tiub tidak cukup dalam, tiada kaedah perlindungan kualiti sumber air dan penyedutan air bawah tanah pada kadar tinggi.

JADUAL 4. Kandungan jumlah keaktifan tentu Alfa dan Beta di dalam sampel air (Bq/L)

Nombor	Lokasi	Keaktifan Tentu (Bq/L)	
		Alfa jumlah	Beta kumlah
KELANTAN			
1.	SK Pasir Gajah Kuala Krai	<0.04	0.09 ± 0.01
2.	Sungai Kelantan, Tangga Krai	0.08 ± 0.01	0.05 ± 0.01
3.	SK Temalir, Kuala Krai	<0.02	0.03 ± 0.01
4.	SK Manik Urai Baru, Kuala Krai	0.04 ± 0.01	0.02 ± 0.01
5.	Sungai Pahi, Kuala Krai	0.02 ± 0.01	0.06 ± 0.01
6.	Lot PT 2413 Jalan Kadir Adabi, Kota Bharu	0.03 ± 0.01	0.15 ± 0.01
7.	Lot PT901 Taman KUB	< 0.02	0.08 ± 0.01
8.	Masjid Pasir Ganda, Tanah Merah	0.12 ± 0.01	0.19 ± 0.01
9.	Masjid Gual Ipoh, Tanah Merah	0.03 ± 0.01	0.13 ± 0.01
10.	Balai Polis Lubuk Stol, Rantau Panjang	<0.01	0.10 ± 0.01
11.	Masjid Kubang Rambutan, Rantau Panjang	<0.02	0.11 ± 0.01
PAHANG			
12.	Menara Peninjau Penor, Kuantan	0.34 ± 0.02	0.35 ± 0.01
13.	Kg. Baruh, Cerok Paloh, Pekan	0.03 ± 0.01	0.09 ± 0.01
14.	Loji PAIP Nenas, Pekan	< 0.01	0.03 ± 0.01
15.	Kg. Baharu, Pekan	< 0.02	0.03 ± 0.01
16.	Kg. Chenderawasih Blok A, Pekan	0.02 ± 0.01	0.05 ± 0.01
17.	Masjid An-Nur, Kg. Ketapang Hilir, Pekan	< 0.01	0.04 ± 0.01
18.	Kg. Ubai A, Ulu Penor, Pekan	0.03 ± 0.01	0.06 ± 0.01
19.	Kg. Ubai B, Ulu Penor, Pekan	0.19 ± 0.01	0.13 ± 0.01
Piawai Air Minuman WHO		0.1	1

JADUAL 5. Kandungan NORM sampel tanah dan sedimen sampel di Kelantan dan Pahang (Bq/kg)

Sampel	K-40	Th-232	U-238	Ra-226	Dos terserap (nGy/jam)	Dos berkesan (µSv/tahun)
KELANTAN						
Sg. Kelantan, Tangga Krai	628±16	93.7±1.1	92.6±5.1	73.17±1.64	128±10	156±12
SK Manik Urai Baru, K. Krai	384±11	15.6±0.4	23.4±2.3	10.9±0.6	37±4	45±5
Sg. Pahi, K. Krai	1348±22	174.5±1.5	317.75±10.1	203.6±2.8	309±14	378±16
Padang Awam Tmn. Barakah	86.8±3.8	45.5±0.8	29.0±2.1	33.0±1.0	46±6	56±7
Masjid Gual Ipoh, Tanah Merah	47.9±2.4	183.4±1.5	200.5±7.6	143.6±2.4	209±13	256±15
Sg. Golok, Balai Polis Stol, Rantau Panjang	787.0±16.1	174.8±1.5	198.0±7.7	127.4±2.2	234±10	286±12
PAHANG						
Sg. Pahang, Bandar Temerloh	836±16	131.5±1.5	215±12	137±3	207±14	255±15
Kg. Chenderawasih, Pekan	585±11	37.1±0.4	36.9±2.1	37.8±0.8	61±5	75±4
Sg. Pahang, River Front, Pekan	652±12	78.5±1.5	130±7.3	73.26±1.5	130±14	159±16
Kg. Acheh, Pekan	533±10	94.0±1.8	158±8	97.8±1.0	148±6	181±7
Sg. Kuantan, Loji Kg. Padang Kuantan	496±10	69.1±1.5	95.4±4.8	56.6±0.5	104±5	127±5
Sg. Balok, Muara Kuantan	438±8	32.5±0.4	95.9±3.7	23.8±0.2	78±3	96±4

JADUAL 6. Bilangan koloni bakteria (cfu/100 mL) di dalam sampel air di negeri Kelantan dan Pahang

Stesen	Nama	<i>Salmonella</i>	<i>Shigella</i>	<i>E. coli</i>	Bakteria lain
KELANTAN					
1.	SK Pasir Gajah, Kuala Krai	0	300	20	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i>
2.	Sg. Kelantan, Tangga Krai, Kuala Krai	50	0	35.8×10^2	<i>Citrobacter</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
4.	SK Manik Urai Baru, Kuala Krai	12	0	14	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Pseudomonas luteola</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
6.	Lot PT 2413 Jalan Kadir Adabi, Kota Bharu	8	0	60	
7.	Lot PT901 Taman KUB, Kota Bharu	30		250	
8.	Masjid Pasir Ganda, Tanah Merah	0	0	107	<i>Providencia stuartii</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Roultella planticola</i> <i>Pasteurella pneumotropica</i>
9.	Masjid Gual Ipoh, Tanah Merah	70	0	1590	<i>Citrobacter youngae</i> , <i>Citrobacter freundii</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Pseudomonas luteola</i> , <i>Enterobacter cloacae</i>
10.	Balai Polis Lubuk Setol, Rantau Panjang	0	11	165	<i>Roultella planticola</i>
11.	Menara Peninjau Kebakaran, Penur, Kuantan	0		0	>3000 <i>Enterobacter cloacae</i> , 36 <i>Citrobacter freundii</i>
PAHANG					
12.	Kg. Baruh, Cherok Paloh, Kuantan.	0	0	0	24 <i>Citrobacter freundii</i> , 9 <i>Enterobacter cloacae</i>
13.	Loji Air PAIP Nenasi, Pekan	0	0	0	17 <i>Serratia marcescens</i> , 10 <i>Citrobacter freundii</i> 3 <i>Enterobacter cloacae</i>
14.	Kg. Baharu, Pekan A	0	0	7	100 <i>Citrobacter freundii</i> , 130 <i>Enterobacter cloacae</i> , 6 <i>Citrobacter youngae</i>
15.	Kg. Chenderawasih, Pekan	0	0	22	>600 <i>Citrobacter freundii</i>
16.	Masjid Kampung Ketapang Hilir, Pekan.	0		0	20 <i>Citrobacter freundii</i> , 2 <i>Enterobacter cloacae</i> 17 <i>Pseudomonas luteola</i> , 1 <i>Citrobacter youngae</i>
17.	Kampung Ubai, Ulu Penor, Kg Semangat (A)	0	0	0	48 <i>Citrobacter freundii</i> , 7 <i>Pseudomonas luteola</i>
18.	Kampung Ubai, Ulu Penor, Kg Semangat (B)	0	0	0	324 <i>Citrobacter freundii</i> , 16 <i>Pseudomonas luteola</i> , 9 <i>Enterobacter cloacae</i>

KESIMPULAN

Kajian menunjukkan bahawa secara keseluruhannya kualiti air bawah tanah di Kelantan dan Pahang pasca banjir masih berada dalam tahap selamat berdasarkan parameter fiziko-kimia. Namun, di beberapa lokasi kandungan logam berat Fe dan Mn yang diperoleh adalah tinggi dan boleh menjejaskan kualiti estetika air kerana warna, bau dan rasa air telah berubah. Manakala kandungan bahan radioaktif tabii di dalam air bawah tanah berada dalam tahap dibenarkan dan perbezaan tahap kandungan radioaktif antara sampel dari lokasi yang berbeza mungkin disebabkan oleh ciri geologi tanah yang berbeza yang boleh mempengaruhi keradioaktifan air. Analisis mikrobiologi menunjukkan kebanyakan sumber air bawah tanah mempunyai kandungan koliform jumlah dan koliform tinja yang amat tinggi dan tidak mematuhi piawai air minuman. Keadaan ini terjadi kerana tidak ada sistem pembentungan dan sistem kumbahan sempurna, juga tiada kawalan dan pemantauan ketat oleh pihak berkuasa bagi orang awam membina telaga tiub. Kesimpulannya kualiti air bawah tanah di Kelantan dan Pahang tidak selamat untuk diminum namun boleh digunakan semasa kecemasan. Air perlu dirawat dengan pengklorinan atau pendidihan sebelum diminum bagi mengelakkan penyakit bawaan air. Analisis air bawah tanah perlu kerap dijalankan untuk memantau kadar dan jenis pencemaran dan bagi tujuan perancangan jangka panjang, pemasangan loji rawatan air berskala kecil boleh diambil kira.

PENGHARGAAN

Penyelidikan ini dibiayai oleh Kementerian Pendidikan Tinggi melalui Geran FRGS/1/2015/SG01/UKM/01/1. Ucapan terima kasih kepada Jabatan Mineral dan Geosains Kelantan dan Pahang yang memberi bantuan lokasi dan teknikal. Terima kasih juga kepada Penolong Pegawai Sains Jabatan Fizik Gunaan dan Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi yang membantu kerja lapangan dan kerja teknikal projek ini.

RUJUKAN

- Abdullah, N.H., Mohamed, N., Sulaiman, L.H., Zakaria, T.A. & Rahim, D.A. 2016. Potential health impacts of bauxite mining in Kuantan. *Malays. J. Med. Sci.* 23(3): 1-8.
- APHA. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Akbar, N.A., Aziz, H.A. & Adlan, M.N. 2015. Potential use of ozonation with limestone adsorption in ground treatment: A case study at Kelantan Water Treatment Plant. *Jurnal Teknologi* 74: 43-50.
- Baborowski, M. & Einax, J.W. 2016. Flood-event based metal distribution patterns in water as approach for source apportionment of pollution on catchment scale: Examples from the River Elbe. *Journal of Hydrology* 535: 429-437.
- Cann, K.F., Thomas, D.R., Salmon, R.L., Wyn-Jones, A.P. & Kay, D. 2013. Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology & Infection* 141(4): 671-686.
- Canu, I.G., Laurent, O., Pires, N., Laurier, D. & Dublineau, I. 2011. Health effects of naturally radioactive water ingestion: The need for enhanced studies. *Environmental Health Perspectives* 119(12): 1676-1680.
- Chapelle, F. 2000. *Ground-water Microbiology and Geochemistry*. 2 ed. New York: Wiley.
- DOE. 2014. *Malaysia Environmental Quality Report*. Ministry of Natural Resources and Environment Malaysia.
- Gabdo, H.T., Ramli, A.T., Sanusi, M.S., Saleh, M.A. & Garba, N.N. 2014. Terrestrial gamma dose rate in Pahang state Malaysia. *J. Radioanal. and Nuclear Chem.* 299: 1793-1798.
- Garba, N.N., Ramli, A.T., Saleh, M.A., Sanusi, M.S., Gabdo, H.T. & Aliyu, A.S. 2015. Natural radioactivity in major rivers of Kelantan state, Malaysia. *Jurnal Teknologi* 77: 13.
- Ha, K.C., Ngoc, N.T.M., Lee, E.H. & Jayakumar, R. 2016. *Current Status and Issues of Groundwater in the Mekong River Basin*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources: Daejeon, Korea, Vol. 121.
- Hamzah, Z., Alias, M. & Ahmad, Z. 2011. Discriminator setting and cocktail preparation for analysis of alpha and beta emitters in aqueous solution using liquid scintillation counter. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* 15: 27-36.
- Ibrahim, N., Aziz, H.A. & Yusoff, M.S. 2015. Heavy metals concentration in river and pumping well water for riverbank filtration (RBF) system: Case study in Sungai Kerian. *Jurnal Teknologi* 74: 59-67.
- Ismail, T. & Anuar, S. 2010. Potential of groundwater contamination in North Kelantan. *Proceedings of Seminar Geofizik Kejuruteraan dan Sekitaran*. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Issa, A.K.M. 2011. Identification of groundwater prospective zones in Perlis, Malaysia using remote sensing and geographic information system. *Proceedings of the 10th International Symposium on Geoinformation (ISG)2011*, 27-29 Sept 2011, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Issa, A.K.M., Badrealam, S., Muha, N.S.E., Arshad, M.K., Martin, J., Asfar, J., Muhammad, N.S. & Mohamad Ibrahim, N. 2012. A review of groundwater quality for domestic consumers' consumption in Perlis. *Jurnal Intelek* 7: 22-27.
- Jusoh, A., Cheng, W.H., Low, W.M., Nora'aini, A. & Noor, M.M.M. 2005. Study on the removal of iron and manganese in groundwater by granular activated carbon. *Desalination* 182(1-3): 347-353.
- Kayode, J.S., Arifin, M.H., Amri Kamarudin, M.K., Hussin, A., Mohd Nordin, M.N. & Roslan, N. 2019. The vulnerability of the aquifer units in the flood-affected areas of the east coast Peninsula Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences* 12: 146.

- Kazama, S., Aizawa, T., Watanabe, T., Ranjan, P., Gunawardhana, L. & Amano, A. 2012. A quantitative risk assessment of waterborne infectious disease in the inundation area of a tropical monsoon region. *Sustainability Science* 7(1): 45-54.
- Kristanti, R.A., Hadibarata, T., Syafrudin, M., Yilmaz, M. & Abdullah, S. 2022. Microbiological contaminants in drinking water: Current status and challenges. *Water Air Soil Pollution* 233: 299.
- Lin, C.Y., Abdullah, M.H., Musta, B., Aris, A.Z. & Praveena, S.M. 2010. Assessment of selected chemical and microbial parameters in groundwater of Pulau Tiga, Sabah, Malaysia. *Sains Malaysiana* 39(3): 337-345.
- Miao, X.X., Ji, Y.Q., Shao, X.Z., Wang, H., Sun, Q.F. & Su, X. 2013. Radioactivity of drinking-water in the vicinity of nuclear power plants in China based on a large-scale monitoring study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 10(12): 6863-6872.
- Missimer, T.M., Teaf, C., Maliva, R.G., Danley-Thomson, A., Covert, D. & Hegy, M. 2019. Natural radiation in the rocks, soils, and groundwater of Southern Florida with a discussion on potential health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(10): 1793.
- Mohd Rawi, N., Hairudin, N.S., Simon, S., Ern, L.K. & Roslan, N. 2020. Hidrogeologi dan geokimia air bawah tanah di Daerah Tampin, Negeri Sembilan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 49(3): 493-502.
- NAHRIM. 2014. <http://www.nahrim.gov.my/ms/arkib-berita-dan-aktiviti/150-kajian-project/616-kajian-pencemaran-air-tanah-di-kawasan-kelantan-utara.html>
- Prabhakaran, P., Ashraf, M.A. & Aqma, W.S. 2016. Microbial stress response to heavy metals in the environment. *RSC Advances* 6(111): 109862-109877.
- Saleh, M.A., Ramli, A.T., Hamzah, K., Alajerami, Y., Mhareb, M.H.A., Aliyu, A.S. & Hanifah, N.Z.H.B.A. 2015. Natural environmental radioactivity and the corresponding health risk in Johor Bahru District, Johor, Malaysia. *J. Radioanal. and Nuclear Chem.* 303: 1753-1761.
- Saleh, M.A., Ramli, A.T., Alajerami, Y. & Aliyu, A.S. 2013. Assessment of environmental ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K concentrations in the region of elevated radiation background in Segamat District, Johor, Malaysia. *J. Env. Radioactivity* 124: 130-140.
- Sanusi, M.S.M., Ramli, A.T., Gabdo, H.T., Garba, N.N., Heryanshah, A., Wagiran, H. & Said, M.N. 2014. Isodose mapping of terrestrial gamma radiation dose rate of Selangor state, Kuala Lumpur and Putrajaya, Malaysia. *J. Env. Radioactivity* 135: 67-74.
- Sefie, A., Aris, A.Z., Shamsuddin, M.K.N., Tawnie, I., Suratman, S., Idris, A.N., Saadudin, S.B. & Wan Ahmad, W.K. 2015. Hydrogeochemistry of groundwater from different aquifer in Lower Kelantan Basin, Kelantan, Malaysia. *Procedia Environmental Sciences* 30: 151-156.
- Semenza, J.C. & Menne, B. 2009. Climate change and infectious diseases in Europe. *The Lancet Infectious Diseases* 9(6): 365-375.
- Taylor, R.G., Burgess, W.G., Shamsudduha, M., Zahid, A., Lapworth, D.J., Ahmed, K., Mukherjee, A. & Nowreen, S. 2014. Deep groundwater in the Bengal Mega Delta: New evidence of aquifer hydraulics and the influence of intensive abstraction. Dlm. *Groundwater Science Programme*; British Geological Survey: Nottingham, UK, Vol. 14.
- UNSCEAR. 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Source and Biological Effects of Ionising Radiation*. Vol. 1 Sources, Annex B. New York: United Nations.
- Winde, F. 2013. Uranium pollution of water: A global perspective on the situation in South Africa. Vaal Triangle Occasional Papers: Inaugural lecture 10/2013. Vanderbijlpark.
- WHO. 2022. *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva: World Health Organization.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: syaidatul@ukm.edu.my