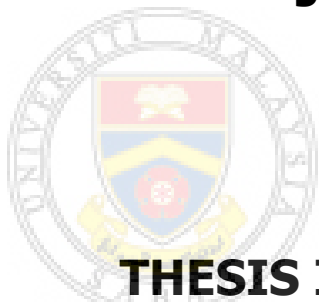


**PENGARUH INTERAKSI AIR - BATUAN
TERHADAP GEOKIMIA AIR BAWAH TANAH
DALAM FORMASI BELAIT DI BAHAGIAN
UTARA PULAU LABUAN**

JAINEH BIN LINGI



UMS

**THESIS INI DISERAHKAN UNTUK
MEMENUHI KEPERLUAN PENGIJAZAHAN
IJAZAH SARJANA SAINS**

**FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH
2017**

PENAKUAN

Karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan, ringkasan dan rujukan yang telah saya jelaskan setiap satu sumbernya.

28 Ogos 2017

Jaineh Bin Lingi
MS12111003T



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGESAHAN

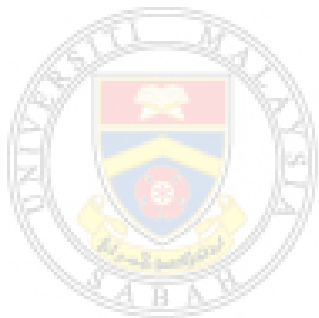
NAMA : **JAINEH BIN LINGI**

NO. MATRIK : **MS12111003T**

TAJUK : **PENGARUH INTERAKSI AIR - BATUAN TERHADAP
GEOKIMIA AIR BAWAH TANAH DALAM FORMASI
BELAIT DI BAHAGIAN UTARA PULAU LABUAN**

IJAZAH : **IJAZAH SARJANA (GEOLOGI)**

TARIKH VIVA : **15 OGOS 2017**



UMS
DISAHKAN OLEH;
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

1. PENYELIA

Prof. Dr. Baba Musta

Tandatangan

PENGHARGAAN

Adalah dimaklumkan bahawa kajian ini dijalankan atas sokongan geran penyelidikan Fundamental Research Grant Scheme (FRGS), Kod Saga: FRG0334-STWN-1/2013 di bawah Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia (MOHE). Tesis ini tidak mungkin dapat dihasilkan dan dicapai tanpa sumbangan banyak pihak.

Pertama sekali, saya ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada Prof. Dr. Baba Musta sebagai penyelia yang telah membimbing dari awal penulisan hingga tesis ini disiapkan. Tanpa bimbingan dan nasihat beliau, tesis ini tidak mungkin disiapkan dengan sempurna. Saya juga ingin merakamkan ribuan terima kasih kepada Prof. Dr. Sanudin Hj. Tahir kerana memberikan komen dan ulasan penambahbaikan terhadap tesis ini serta kepada semua pensyarah-pensyarah khususnya di Fakulti Sains dan Sumber Alam (FSSA) yang banyak membantu dan memberikan panduan.

Saya juga mengucapkan ribuan terima kasih kepada pihak pengurusan Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG) yang memberikan peluang untuk menimba ilmu sehingga ke peringkat ini. Ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada semua rakan-rakan di atas semua galakan dan semangat sepanjang penyediaan tesis ini.

Kepada keluarga besar saya, isteri saya (Tiza Taising) dan anak-anak (Bradley Devyn, Bryan Dylan dan Bieber Delwyn), terima kasih atas pengorbanan serta kesabaran sepanjang penulisan tesis ini.

Akhir sekali, syukur kepada Tuhan atas hikmat dan berkat yang diberikan sehingga tesis ini disiapkan.

Jaineh Lingi
28 Ogos 2017

ABSTRAK

Kawasan kajian terdiri dari Formasi Belait yang dicirikan oleh selang lapis antara batu pasir tebal, syal, konglomerat dan batu arang. Objektif utama kajian ialah untuk mengenalpasti proses geokimia serta pengaruh interaksi antara air dan batuan terhadap komposisi geokimia air bawah tanah. Kajian telah dijalankan dengan membina empat buah piezometer untuk pengambilan sampel air bawah tanah di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak (KGBH1 dan KGBH2) dan di Bukit Kubong (BKBH1 dan BKBH2). Sampel air bawah tanah telah dikutip dari telaga piezometer dan air permukaan semasa musim kering dan musim hujan. Sampel batuan dan air telah dianalisis di makmal menggunakan Analisis Spektrofotometer Pancaran Plasma Gandingan Aruhan (ICP-OES). Kajian petrologi dan mineralogi telah dijalankan menggunakan kaedah keratan nipis, pembelauan sinar-X (XRD) dan mikroskop imbasan elektron (SEM). Keputusan analisis kimia telah dianalisa untuk menentukan proses geokimia yang mengawal komposisi geokimia air bawah tanah. Berdasarkan gambarajah Gibbs, geokimia air di BKBH1 dan BKBH2 adalah dikawal oleh proses peluluhawaan dan penghabluran yang menghasilkan mineral sekunder seperti pikeringit yang menghablur di atas permukaan batuan. Sementara itu, luluhawa batuan yang menghasilkan saliran batuan asid (ARD) mengawal komposisi kimia air bagi KGBH1, KGBH2 dan air permukaan (SW). Proses-proses ini meningkatkan kandungan ion-ion terlarut seperti SO_4^{2-} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} dan Mg^{2+} ; jumlah pepejal terlarut (TDS) dan keasidan air. Beberapa unsur surih seperti Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Pb^{2+} menunjukkan nilai yang tinggi dalam beberapa sampel air. Proses kimia lain yang dikenalpasti adalah pelarutan karbonat, pertukaran ion berbalik serta luluhawa batuan silikat. Gambarajah *tri-linear* (Piper) menunjukkan bahawa air bawah tanah di kawasan kajian dikelaskan sebagai fasis ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$) dan ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). Air bawah tanah di kawasan kajian mempunyai Indeks Pertukaran Bes (r_1) dari jenis ($\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-}$). Air bawah tanah dari KGBH1 dan KGBH2 mempunyai Indeks Genesis Meteorik, $r_2 < 1$ manakala BKBH1 dan BKBH2, $r_2 > 2$. Nilai ini menunjukkan bahawa air bawah tanah dari KGBH1 dan KGBH2 berasal dari penyusupan air meteorik pada kedalaman tinggi manakala BKBH1 dan BKBH2 berasal dari penyusupan cetek air meteorik. Secara amnya, kualiti air bawah tanah dikawal oleh beberapa faktor seperti geologi dan hidrogeokimia. Kehadiran saliran batuan asid (ARD) menyebabkan keasidan air yang tinggi iaitu di bawah nilai pH 5. Ini menyebabkan kadar keterlarutan Fe^{3+} , Mn^{2+} serta unsur surih Ni^{2+} dan Pb^{2+} yang tinggi dan membawa kepada masalah semasa penapisan dan perawatan. Kandungan ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} serta unsur surih Ni^{2+} dan Pb^{2+} dalam air bawah tanah adalah melebihi panduan yang ditetapkan oleh WHO (2011) sebagai air minuman. Air bawah tanah di kawasan ini kurang sesuai digunakan sebagai air minuman kecuali melalui proses penapisan dan rawatan yang sewajarnya.

ABSTRACT

Effect of Water-Rock Interaction on Groundwater Geochemistry in Belait Formation at Northern Part of Labuan Island

Areas of study consists of Belait Formation which is characterized by interbedded thick sandstone, shale, conglomerate and coal. The main objective of this study is to identify the geochemical processes as well as the effect of the interaction between water and minerals in the rocks on the geochemical composition of groundwater. Studies have been carried out by constructing four piezometers for groundwater sampling at Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak (KGBH1 and KGBH2) and Bukit Kubong (BKBH1 and BKBH2). Water samples have been taken from these piezometers as well as surface water during the dry and wet season. Rock and water samples were analysed in the laboratory using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Study on the mineralogical and petrological was carried out on thin section, x-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). The results of the geochemical analysis were analysed to determine the geochemical processes that control the geochemical composition. Based on the Gibbs diagram, water chemistry in BKBH1 and BKBH2 is controlled by weathering and crystallization processes that produced crystallised secondary minerals such as pickeringite on the surface of the rock. Meanwhile, the weathering of rocks produced acid rock drainage (ARD) and control the chemical composition of water in KGBH1, KGBH2 and surface water (SW). These processes increase the content of dissolved ions such as SO_4^{2-} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} and Mg^{2+} ; total dissolved solids (TDS) and the acidity of water. Some trace elements such as Zn^{2+} , Ni^{2+} and Pb^{2+} showed high values in some water samples. Other chemical process identified are carbonate dissolution, reverse ion exchange and silicate rocks weathering. Tri-linear diagram (Piper) showed that the groundwater in the study area are classified as facies ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}$) and ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). Groundwater in the study area has Base Exchange Index (r_1) of the type ($\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-}$). Groundwater from KGBH1 and KGBH2 have Genesis Index meteoric, $r_2 < 1$ while BKBH1 and BKBH2, $r_2 > 2$. This value indicates that the water of KGBH1 and KGBH2 derived from deep meteoric water infiltration while BKBH1 BKBH2 comes from shallow meteoric water infiltration. Generally, groundwater quality is controlled by several factors such as geology and hydrogeochemistry. The presence of acid rock drainage (ARD) leads to high acidity of water below pH 5. As a result, the solubility of Fe^{3+} , Mn^{2+} and trace elements of Ni^{2+} and Pb^{2+} increased and leads to filtration and treatment problem. The ions content of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} as well as trace elements of Ni^{2+} and Pb^{2+} in groundwater exceeded the guideline by the WHO (2011) for drinking water. Groundwater in this area are less suitable for drinking water unless through proper filtration and treatment.

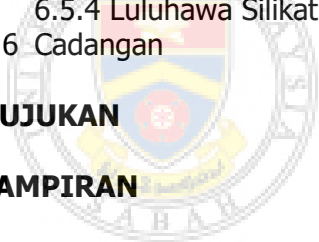
SENARAI KANDUNGAN

	Halaman
TAJUK	i
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI JADUAL	xi
SENARAI RAJAH	xii
SENARAI FOTO	xvi
SENARAI LAMPIRAN	xvii
BAB 1 : PENGENALAN	1
1.1 Latarbelakang	1
1.2 Lokasi Kawasan Kajian	2
1.3 Pemilihan Kawasan Kajian	2
1.3.1 Geologi	3
1.3.2 Kehadiran Air Bawah Tanah	3
1.3.3 Akses ke Kawasan Kajian	3
1.4 Permasalahan Kajian	3
1.5 Objektif	4
1.6 Skop Kajian	4
1.7 Limitasi Kajian	5
1.8 Kepentingan Kajian	5
1.9 Topografi dan Saliran	6
1.10 Iklim	7
1.11 Kajian Terdahulu	9
BAB 2 : SOROTAN LITERATUR	11
2.1 Pengenalan	11
2.2 Geologi	11
2.2.1 Formasi Belait	13
2.2.2 Formasi Setap	15
2.2.3 Geologi Bukit Minyak Gas	16
2.2.4 Geologi Bukit Kubong	19
2.3 Air Bawah Tanah	20
2.3.1 Kitaran Hidrologi	21
2.3.2 Keliangan dan Ketelapan	23
2.3.3 Akuifer Air Tanah	25
2.4 Hidrogeokimia	26
2.4.1 Kualiti Air Bawah Tanah	27
2.4.2 Komponen Air Bawah Tanah	28
(i) Ciri-Ciri Fizikal Air Bawah Tanah	28
(ii) Kandungan Kimia Air	30
2.4.3 Interaksi Air dan Batuan	33
2.4.4 Proses Hidrogeokimia	35

(i) Pengoksidaan Mineral Sulfida	35
(ii) Pelarutan Karbonat	39
(iii) Luluhawa Mineral Silikat	40
(iv) Pertukaran Ion (<i>Ion exchange</i>)	41
(v) Sejatan	42
2.4.5 Panduan Sebagai Air Minuman	42
BAB 3 : METODOLOGI	44
3.1 Pengenalan	44
3.2 Kajian Awal	45
3.2.1 Kajian Literatur	45
3.2.2 Penyediaan Rangka Kerja Kajian Lapangan	46
3.2.3 Penyediaan Peta Asas	46
3.2.4 Maklumat Asas Lain	46
3.3 Kajian di Lapangan	47
3.3.1 Pembinaan Telaga Piezometer	47
3.4 Kekekapan Persampelan	52
3.5 Kaedah Persampelan	53
3.5.1 Pengutipan Sampel Batuan, Tanah dan Lempung	53
3.5.2 Kaedah Pengutipan Sampel Air	54
(i) Air Permukaan	54
(ii) Air Telaga Piezometer	55
3.5.3 Pengawetan Dan Penyimpanan Sampel	57
3.5.4 Pelabelan	57
3.6 Pengukuran Parameter Fizikal di Lapangan	58
3.6.1 Paras Air Bawah Tanah	58
3.6.2 Sifat Fizikal Air	58
3.7 Kaedah Penyediaan Larutan Sampel Sedimen	60
3.7.1 Pengisaran	60
3.7.2 Penyediaan Larutan	60
3.8 Kaedah Analisis Makmal	61
3.8.1 ICP-OES (<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrom</i>)	62
3.8.2 Gravitimetrik (<i>Gravimetric</i>)	62
3.8.3 Titrimetrik (<i>Titrimetric</i>)	63
(i) Klorida, Cl	63
(ii) Bikarbonat (HCO_3) dan Karbonat (CO_3)	64
3.8.4 Turbidimetrik (<i>Turbidimetric</i>)	65
3.8.5 ISE (<i>Ion Selective Electrode</i>)	65
3.9 Penentuan Kandungan Mineral	66
3.9.1 SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	66
3.9.2 Pembelauan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	66
3.9.3 Kajian Petrografi	67
3.10 Analisa Data Kimia	67
3.10.1 Gambarajah Piper	67
3.10.2 Gambarajah Gibbs	69
3.10.3 <i>Source-Rock Deduction</i>	69
BAB 4 : DAPATAN KAJIAN	71
4.1 Pengenalan	71
4.2 Mineralogi	71

4.3	Mineral Utama	72
4.3.1	Kuarza (<i>Quartz</i>)	73
4.3.2	Pirit (<i>Pyrite</i>)	73
4.3.3	Illit (<i>Illite</i>)	75
4.3.4	Kaolinit (<i>Kaolinite</i>)	76
4.3.5	Gypsum (<i>Gypsum</i>)	77
4.3.6	Kalsit (<i>Calcite</i>)	78
4.4	Mineral Sulfat Sekunder	78
4.4.1	Mineral Sulfat Sekunder Larut Dalam Air	79
	(i) Pikeringit (<i>Pickeringite</i>)	79
4.4.2	Besi Sekunder Tidak Larut Dalam Air	81
	(i) Goethit (<i>Goethite</i>)	81
	(ii) Jarosit (<i>Jarosite</i>)	84
4.5	Analisis Kimia Sampel Batuan	85
4.5.1	Unsur Utama	87
	(i) KGBH1	87
	(ii) KGBH2	88
	(iii) BKBH1	89
	(iv) BKBH2	89
4.5.2	Unsur Surih	90
	(i) KGBH1	90
	(ii) KGBH2	91
	(iii) BKBH1	92
	(iv) BKBH2	93
4.6	Analisis Kimia Air	94
4.7	Pengukuran Kualiti Fizikal Air	95
4.8	Kandungan Unsur Utama	96
4.8.1	KGBH1	97
4.8.2	KGBH2	97
4.8.3	BKBH1	98
4.8.4	BKBH2	99
4.9	Kandungan Ion Utama Dalam Sampel Air	100
4.9.1	Kalsium, Ca^{2+}	100
4.9.2	Magnesium, Mg^{2+}	103
4.9.3	Sodium, Na^+	105
4.9.4	Potasium, K^+	108
4.9.5	Ferum, Fe^{3+}	110
4.9.6	Mangan, Mn^{2+}	113
4.9.7	Klorida, Cl^-	115
4.9.8	Sulfat, SO_4^{2-}	118
4.10	Unsur Surih Dalam Sampel Air	120
4.10.1	Nikel, Ni^{2+}	121
4.10.2	Kuprum, Cu^{2+}	124
4.10.3	Plumbum, Pb^{2+}	126
4.10.4	Zink, Zn^{2+}	129
BAB 5 : PERBINCANGAN		132
5.1	Pengenalan	132
5.1	Saliran Batuan Asid (ARD)	132
5.2	Proses Hidrogeokimia	133

5.2.1 Mekanisma Mengawal Geokimia Air Bawah Tanah	133
5.2.2 Pertukaran ion	135
5.2.3 Tindakbalas Pelarutan Karbonat	137
5.2.4 Luluhawa Silikat	139
5.2.5 Sejatan	141
5.3 Pengkelasan Air Bawah Tanah	143
5.3.1 Gambarajah <i>Tri-linear</i> (Piper)	143
5.3.2 Indeks Pertukaran Bes (<i>Base-Exchange Indices</i>), r1	144
5.3.3 Indeks Genesis Meteorik (<i>Meteoric Genesis Indices</i>), r2	145
5.4 Pengaruh Cuaca Terhadap Geokimia Air	146
5.5 Kualiti Air Bawah Tanah	152
BAB 6 : KESIMPULAN DAN CADANGAN	153
6.1 Pengenalan	153
6.2 Kandungan Mineral Dalam Batuan	153
6.3 Ciri-Ciri Fizikal Air	154
6.4 Geokimia Air Bawah Tanah	155
6.4.1 Kandungan Kation dan Anion	155
6.4.2 Kandungan Unsur Surih	156
6.5 Proses Geokimia dan Pengaruh Terhadap Geokimia Air	156
6.5.1 Pengoksidaan Mineral Pirit	157
6.5.2 Pertukaran Ion	157
6.5.3 Pelarutan Karbonat	158
6.5.4 Luluhawa Silikat	158
6.6 Cadangan	158
RUJUKAN	159
LAMPIRAN	166



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI JADUAL

	Halaman
Jadual 2.1 : Taburan fasis dalam Formasi Belait	14
Jadual 2.2 : Keliangan bahan geologi	24
Jadual 2.3 : Nilai TDS beberapa jenis air	30
Jadual 2.4 : Komposisi kimia bagi bahagian atas kerak bumi	31
Jadual 2.5 : Nilai maksimum parameter kimia air sebagai air minuman	43
Jadual 3.1 : Pengambilan sampel air bawah tanah dari telaga piezometer	53
Jadual 3.2 : Analisa data kimia menggunakan kaedah Source-Rock Deduction	70
Jadual 4.1 : Mineral utama dalam batuan dari Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak dan Bukit Kubong	72
Jadual 4.2 : Litologi batuan di setiap lubang gerudi	86
Jadual 4.3 : Kedalaman lubang gerudi dan litologi	94
Jadual 4.4 : Paras air tanah dan kedalaman persampelan	95
Jadual 4.5 : Parameter-parameter fizikal air	96
Jadual 4.6 : Kandungan unsur utama dalam sampel air	96
Jadual 4.7 : Kandungan unsur surih dalam sampel air	121



SENARAI RAJAH

	Halaman
Rajah 1.1 : Peta lokasi kawasan kajian	2
Rajah 1.2 : Peta topografi kawasan kajian di utara Pulau Labuan	7
Rajah 1.3 : Purata hujan bulanan Pulau Labuan bagi tahun 2004 -2014	8
Rajah 1.4 : Hujan bulanan Pulau Labuan bagi tahun 2014	9
Rajah 2.1 : Kolum litostratigrafi Pulau Labuan	12
Rajah 2.2 : Peta Geologi utara Pulau Labuan	13
Rajah 2.3 : Capillary fringe dan paras air bawah tanah	22
Rajah 2.4 : Sistem kitaran air	23
Rajah 2.5 : Rongga-rongga primer dan sekunder dalam media akuifer air bawah tanah	24
Rajah 2.6 : Jenis-jenis akuifer air bawah tanah dan telaga artesian	26
Rajah 2.7 : Gambarajah faktor-faktor yang mempengaruhi geokimia air dalam sistem akuifer	27
Rajah 2.8 : Proses geokimia dalam air bawah tanah	35
Rajah 2.9 : Sumber dan penghasilan ARD	38
Rajah 2.10 : Kitaran pengoksidaan pirit	39
Rajah 3.1 : Rangka kerja kajian	45
Rajah 3.2 : Rangka kerja kajian di lapangan	46
Rajah 3.3 : Lokasi piezometer dan litologi am Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	48
Rajah 3.4 : Lokasi piezometer dan litologi am Bukit Kubong	49
Rajah 3.5 : Rekabentuk telaga piezometer yang dipasang	49
Rajah 3.6 : Mekanisma pengambilan air bawah tanah menggunakan SEBA Liquid Sampler KLL-S	56
Rajah 3.7 : Handheld multiparameter (YSI 556 MP)	59
Rajah 3.8 : Rangka kerja pengukuran fizikal air dan analisis kimia	61
Rajah 3.9 : Gambarajah tri-linear	68
Rajah 3.10 : Pengkelasan sampel air berdasarkan kepada gambarajah tri-linear	68
Rajah 4.1 : Mineral kuarza (Q) dalam sampel batu pasir yang segar dan terluluhawa di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	73
Rajah 4.2 : Pirit dalam lapisan syal di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak (Lokasi: KGBH1, Kedalaman: 7.5 m)	74
Rajah 4.3 : Pirit dalam lapisan batu pasir di Bukit Kubong	75
Rajah 4.4 : Mineral illit dalam sampel syal di Bukit Minyak Gas (KGBH1 pada kedalaman: 4.0 m)	75
Rajah 4.5 : Mineral kaolinit dalam sampel syal di Bukit Minyak Gas (KGBH1 pada kedalaman: 9.0 m)	76

Rajah 4.6 : Mineral kaolinit dalam sampel lapisan syal di Bukit Kubong (BKBH1 pada kedalaman 9.0 m)	77
Rajah 4.7 : Mineral gipsum dalam sampel lapisan syal di Bukit Minyak Gas (KGBH1 pada kedalaman 5.0 m)	77
Rajah 4.8 : Mineral gipsum dalam sampel lapisan batu pasir di Bukit Kubong (KGBH1 pada kedalaman 4.5 m)	78
Rajah 4.9 : Mineral pikeringit berwarna putih terhablur di permukaan batu pasir di Bukit Minyak Gas	80
Rajah 4.10 : Mineral pikeringit berwarna putih terhablur di permukaan batu pasir di Bukit Kubong	80
Rajah 4.11 : Analisis XRD menunjukkan mineral sekunder pikeringit di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	81
Rajah 4.12 : Analisis XRD menunjukkan mineral sekunder pikeringit di Bukit Kubong	81
Rajah 4.13 : Analisis SEM menunjukkan goethit terbentuk pada lapisan batu pasir yang teroksida di Bukit Minyak Gas	83
Rajah 4.14 : Analisis XRD terhadap sampel batuan teroksida di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	83
Rajah 4.15 : Analisis XRD terhadap sampel batuan yang teroksida menunjukkan kehadiran jarosit di Bukit Kubong	85
Rajah 4.16 : Kandungan unsur-unsur utama dalam sampel batuan dan tanah di lokasi KGBH1	87
Rajah 4.17 : Kandungan unsur-unsur utama dalam sampel batuan dan tanah di lokasi KGBH2	88
Rajah 4.18 : Kandungan unsur-unsur utama dalam sampel batuan dan tanah di lokasi BKBH1	89
Rajah 4.19 : Kandungan unsur-unsur utama dalam sampel batuan dan tanah di lokasi BKBH2	90
Rajah 4.20 : Kandungan unsur-unsur surih dalam sampel batuan di KGBH1	91
Rajah 4.21 : Kandungan unsur-unsur surih dalam sampel batuan di KGBH2	92
Rajah 4.22 : Kandungan unsur-unsur surih dalam sampel batuan di BKBH1	93
Rajah 4.23 : Kandungan unsur-unsur surih dalam sampel batuan di BKBH2	94
Rajah 4.24 : Kandungan kation dan anion sampel KGBH1	97
Rajah 4.25 : Kandungan kation dan anion sampel KGBH2	98
Rajah 4.26 : Kandungan kation dan anion sampel BKBH1	99
Rajah 4.27 : Kandungan kation dan anion sampel BKBH2	100
Rajah 4.28 : Kandungan Ca^{2+} dalam sampel KGBH1	101
Rajah 4.29 : Kandungan Ca^{2+} dalam sampel KGBH2	101
Rajah 4.30 : Kandungan Ca^{2+} dalam sampel BKBH1	102
Rajah 4.31 : Kandungan Ca^{2+} dalam sampel BKBH2	102
Rajah 4.32 : Kandungan Mg dalam sampel KGBH1	103
Rajah 4.33 : Kandungan Mg^{2+} dalam sampel KGBH2	104
Rajah 4.34 : Kandungan Mg^{2+} dalam sampel BKBH1	104

Rajah 4.35 : Kandungan Mg^{2+} dalam sampel BKBH2	105
Rajah 4.36 : Kandungan Na^+ dalam sampel KGBH1	106
Rajah 4.37 : Kandungan Na^+ dalam sampel KGBH2	106
Rajah 4.38 : Kandungan Na^+ dalam sampel BKBH1	107
Rajah 4.39 : Kandungan Na^+ dalam sampel BKBH2	107
Rajah 4.40 : Kandungan K^+ dalam sampel KGBH1	108
Rajah 4.41 : Kandungan K^+ dalam sampel KGBH2	109
Rajah 4.42 : Kandungan K^+ dalam sampel BKBH1	109
Rajah 4.43 : Kandungan K^+ dalam sampel BKBH2	110
Rajah 4.44 : Kandungan Fe^{3+} dalam sampel KGBH1	111
Rajah 4.45 : Kandungan Fe^{3+} dalam sampel KGBH2	111
Rajah 4.46 : Kandungan Fe^{3+} dalam sampel BKBH1	112
Rajah 4.47 : Kandungan Fe^{3+} dalam sampel BKBH2	112
Rajah 4.48 : Kandungan Mn^{2+} dalam sampel KGBH1	113
Rajah 4.49 : Kandungan Mn^{2+} dalam sampel KGBH2	114
Rajah 4.50 : Kandungan Mn^{2+} dalam sampel BKBH1	114
Rajah 4.51 : Kandungan Mn^{2+} dalam sampel BKBH2	115
Rajah 4.52 : Kandungan Cl^- dalam sampel KGBH1	116
Rajah 4.53 : Kandungan Cl^- dalam sampel KGBH2	116
Rajah 4.54 : Kandungan Cl^- dalam sampel BKBH1	117
Rajah 4.55 : Kandungan Cl^- dalam sampel BKBH2	117
Rajah 4.56 : Kandungan SO_4^{2-} dalam sampel KGBH1	118
Rajah 4.57 : Kandungan SO_4^{2-} dalam sampel KGBH2	119
Rajah 4.58 : Kandungan SO_4^{2-} dalam sampel BKBH1	119
Rajah 4.59 : Kandungan SO_4^{2-} dalam sampel BKBH2	120
Rajah 4.60 : Kandungan Ni^{2+} dalam sampel KGBH1	122
Rajah 4.61 : Kandungan Ni^{2+} dalam sampel KGBH2	122
Rajah 4.62 : Kandungan Ni^{2+} dalam sampel BKBH1	123
Rajah 4.63 : Kandungan Ni^{2+} dalam sampel BKBH2	123
Rajah 4.64 : Kandungan Cu^{2+} dalam sampel KGBH1	124
Rajah 4.65 : Kandungan Cu^{2+} dalam sampel KGBH2	125
Rajah 4.66 : Kandungan Cu^{2+} dalam sampel BKBH1	125
Rajah 4.67 : Kandungan Cu^{2+} dalam sampel BKBH2	126
Rajah 4.68 : Kandungan Pb^{2+} dalam sampel KGBH1	127
Rajah 4.69 : Kandungan Pb^{2+} dalam sampel KGBH2	127
Rajah 4.70 : Kandungan Pb^{2+} dalam sampel BKBH1	128
Rajah 4.71 : Kandungan Pb^{2+} dalam sampel BKBH2	128
Rajah 4.72 : Kandungan Zn^{2+} dalam sampel KGBH1	129
Rajah 4.73 : Kandungan Zn^{2+} dalam sampel KGBH2	130
Rajah 4.74 : Kandungan Zn^{2+} dalam sampel BKBH1	130
Rajah 4.75 : Kandungan Zn^{2+} dalam sampel BKBH2	131

Rajah 5.1 : Rajah skematik pemineralan sekunder di Bukit Minyak Gas dan Bukit Kubong	133
Rajah 5.2 : Gambarajah Gibbs yang diplotkan mengikut nilai TDS dan $(Na+K)/(Na+K+Ca)$	134
Rajah 5.3 : Gambarajah Gibbs yang diplotkan mengikut nilai TDS dan $Cl/(Cl+HCO_3)$	134
Rajah 5.4 : Kebanyakan sampel air yang dikutip menunjukkan CAI negatif	136
Rajah 5.5 : Proses pertukaran ion berbalik ditunjukkan oleh kecerunan garis positif	136
Rajah 5.6 : Nisbah Ca/Mg bagi sampel air bawah tanah	138
Rajah 5.7 : Nisbah Ca dan SO_4 bagi sampel air bawah tanah SW (air permukaan), KGBH1 dan KGBH2	138
Rajah 5.8 : Nisbah Ca dan SO_4 bagi sampel air bawah tanah BKBH1 dan BKBH2	139
Rajah 5.9 : Hubungan di antara TZ+ (jumlah kation) dan Na+K	140
Rajah 5.10 : Hubungan di antara TZ+ (jumlah kation) dan $Ca^{2+}+Mg^{2+}$	140
Rajah 5.11 : Hubungan antara nisbah Na^+/Cl^- dan konduktiviti air bawah tanah (EC)	142
Rajah 5.12 : Hubungan antara Na^+ dan Cl^-	142
Rajah 5.13 : Fasis kimia air bawah tanah di Bukit Minyak Gas dan Bukit Kubong	143
Rajah 5.14 : Nilai r1 bagi sampel-sampel air	144
Rajah 5.15 : Nilai r2 bagi sampel-sampel air bawah tanah	146
Rajah 5.16 : Kandungan kation bagi KGBH1 pada bulan Mac, Mei dan Jun	148
Rajah 5.17 : Kandungan Anion bagi KGBH1 pada bulan Mac, Mei dan Jun	148
Rajah 5.18 : Kandungan kation bagi KGBH2 pada bulan Mac, Mei dan Jun	149
Rajah 5.19 : Kandungan anion bagi KGBH2 pada bulan Mac, Mei dan Jun	149
Rajah 5.20 : Kandungan kation bagi BKBH1 pada bulan Mac, Mei dan Jun	150
Rajah 5.21 : Kandungan anion bagi BKBH1 pada bulan Mac, Mei dan Jun	150
Rajah 5.22 : Kandungan kation bagi BKBH2 pada bulan Mac, Mei dan Jun	151
Rajah 5.23 : Kandungan anion bagi BKBH2 pada bulan Mac, Mei dan Jun	151

SENARAI FOTO

	Halaman
Foto 2.1 : Kekar-kekar pada lapisan batu pasir dalam Formasi Belait yang tersingkap di Kubong Bluff	15
Foto 2.2 : Fitur swaley pada lapisan batu pasir di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	17
Foto 2.3 : Lapisan syal heterolitik yang berselang lapis nipis dengan batu lumpur dan batu pasir halus	17
Foto 2.4 : Lapisan konglomerat di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	18
Foto 2.5 : Konglomerat yang mengalami peluluhawaan aktif meninggalkan kesan perang kekuningan (besi hidroksida)	18
Foto 2.6 : Lapisan arang batu di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	18
Foto 2.7 : Lapisan batu pasir hummocky serta lapisan syal di Bukit Kubong	19
Foto 2.8 : Lignit dan klasta arang batu dalam lapisan heterolitik (flaser) di Bukit Kubong	20
Foto 2.9 : Fitur hummocky dan lapisan heterolitik pada Formasi Belait di Bukit Kubong	20
Foto 3.1 : Litologi am Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak	50
Foto 3.2 : Litologi am Bukit Kubong	50
Foto 3.3 : Penggerudian menggunakan mesin gerudi YWE D45R	51
Foto 3.4 : Skrin uPVC bersaiz 50mm yang dipasang dalam lubang gerudi sebagai piezometer	51
Foto 3.5 : Sampel teras (coring) batu pasir dan syal yang konsolidat	51
Foto 3.6 : Sampel tak konsolidat batu pasir dan syal	52
Foto 3.7 : Pengambilan sampel air permukaan menggunakan kaedah grab sampling	54
Foto 3.8 : Alat yang digunakan untuk mengambil sampel air dari telaga piezometer (SEBA Liquid Sampler KLL-S)	56
Foto 3.9 : Pengawetan sampel air di lapangan menggunakan asid nitrik (HNO_3)	57
Foto 3.10 : Pengukuran parameter fizikal air di lapangan menggunakan YSI 556MP	59
Foto 4.1 : Nodul pirit dalam klasta-klasta kecil arang batu dalam lapisan batu pasir berlignit di Bukit Kubong	74
Foto 4.2 : Goethit yang terdapat di Bukit Minyak Gas	82
Foto 4.3 : Jarosit yang hadir berwarna kuning keperangan dalam lapisan batu pasir di Bukit Kubong	84

SENARAI LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A : Tindakbalas redox dan penghasilan mineral sekunder	166
Lampiran B : Kaedah Pengiraan	167
Lampiran C : Log Lubang Gerudi	168
Lampiran D : Analisis Kimia Batuan di Utara Pulau Labuan	172
Lampiran E : Keputusan Analisis Makmal	176



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BAB 1

Pengenalan

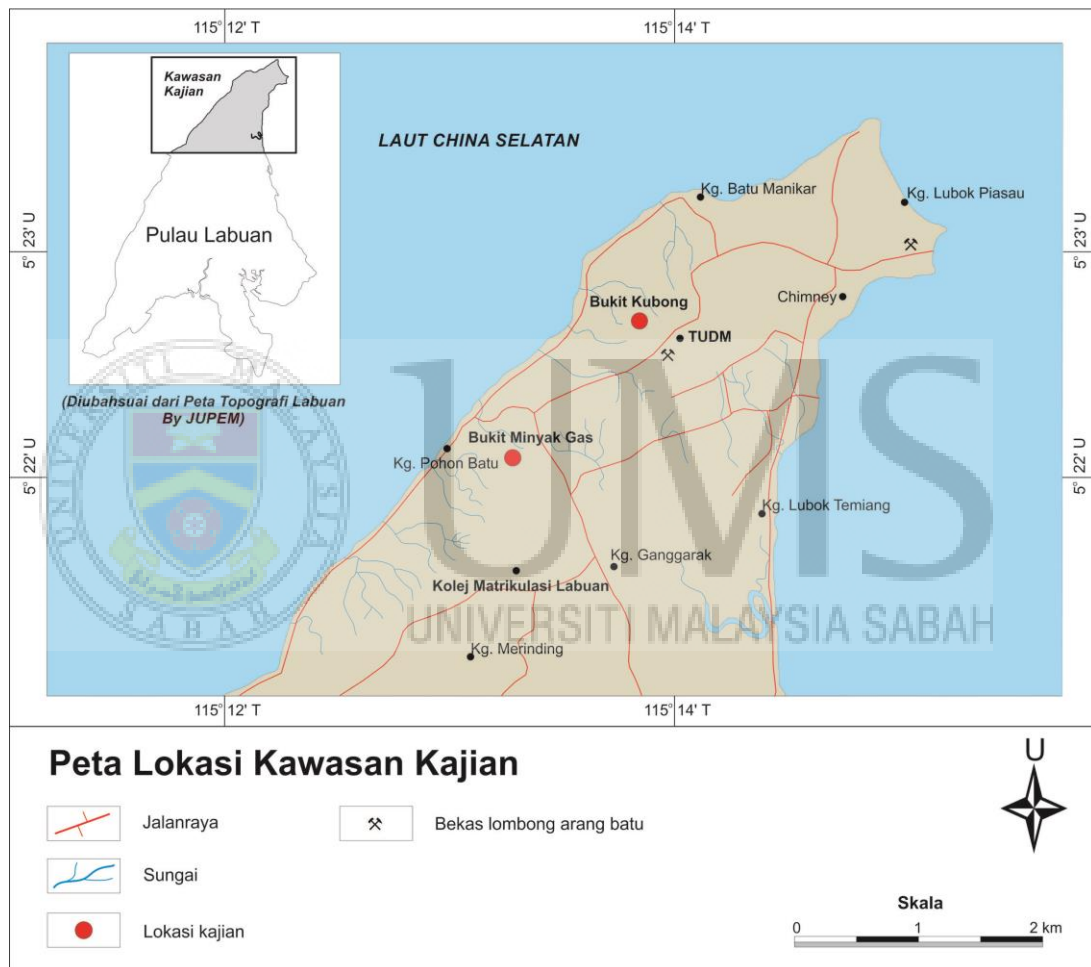
1.1 Latarbelakang

Bekalan air bersih merupakan keperluan asas utama manusia masa kini. Bekalan air bersih diperolehi dengan merawat air permukaan seperti sungai, empangan dan tasik. Air bawah tanah juga tidak kurang pentingnya memandangkan air ini tidak memerlukan proses rawatan yang kompleks berbanding air permukaan. Kualiti air bawah tanah yang bersih secara semulajadi, kos penapisan yang rendah serta sumber yang boleh diperbaharui (replenishable) menjadikan sumber air bawah tanah menjadi bekalan air yang utama bagi beberapa negara Asia seperti Bangladesh, Myanmar, Vietnam, Thailand dan lain-lain. Selain itu, negara-negara Eropah seperti Republik Ireland, Sepanyol, Sweden, Bulgaria, Netherland juga merupakan pengguna sumber air bawah tanah terbesar (Eurostat Regional Yearbook 2014).

Sebahagian besar sumber bekalan air domestik bagi Pulau Labuan diperolehi dari bekalan air mentah dari Sungai Padas Beaufort, Sabah dengan penapisan dan perawatan dijalankan di Pulau Enoe, Pulau Labuan. Walaupun air permukaan merupakan sumber utama bekalan air bersih, penggunaan air bawah tanah di Pulau Labuan semakin meningkat terutamanya ketika catuan air pada musim kemarau. Beberapa buah telaga tiub telah dibina dalam Formasi Belait sebagai alternatif kepada sumber air permukaan.

1.2 Lokasi Kawasan Kajian

Kawasan kajian merupakan potongan dan bekas pengambilan batuan. Kawasan kajian terletak di utara Pulau Labuan pada latitud $5^{\circ} 21' U - 5^{\circ} 24' U$ dan longitud $115^{\circ} 12' T - 115^{\circ} 15' T$. Dua buah lokasi telah dipilih untuk kajian iaitu di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak dan Bukit Kubong (Rajah 1.1).



Rajah 1.1 : Peta lokasi kawasan kajian

1.3 Pemilihan Kawasan Kajian

Pemilihan kawasan kajian adalah berdasarkan kepada kriteria geologi, kehadiran air bawah tanah dan akses ke lokasi kajian.

1.3.1 Geologi

Lokasi di kedua-dua kawasan kajian terletak dalam Formasi Belait yang menjadi akuifer air bawah tanah. Batuan di kawasan ini telah tersingkap di permukaan dan mudah untuk melakukan kajian. Lokasi kajian di Bukit Minyak Gas, Kg. Ganggarak mempunyai lapisan arang batu yang tebal berbanding di Bukit Kubong. Batuan di kedua-dua kawasan telah terdedah di permukaan akibat pengorekan dan pengambilan batuan. Akibatnya, pelbagai proses geokimia berlaku seperti peluluhawaan, pengoksidaan, larut-resapan dan lain-lain yang mengubah lanskap geokimia batuan dan air di kawasan ini.

1.3.2 Kehadiran Air Bawah Tanah

Selain itu, kedua-dua lokasi mempunyai akuifer air bawah tanah dalam Formasi Belait dan sesuai untuk pembinaan telaga piezometer. Paras air bawah tanah juga adalah tinggi bagi memudahkan pengambilan sampel air untuk kajian hidrogeokimia.

1.3.3 Akses ke Kawasan Kajian

Kedua-dua lokasi kawasan kajian mudah diakses menggunakan jalanraya bagi membawa peralatan menggerudi untuk pembinaan telaga piezometer.

1.4 Permasalahan Kajian

Sumber air bawah tanah di Pulau Labuan diperolehi dari telaga tiub yang kebanyakannya dibina dalam Formasi Belait di sebelah Barat dan Utara, Pulau Labuan. Kajian kualiti air yang dijalankan oleh Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia pada tahun 2010 dari telaga tiub di Kolej Matrikulasi Labuan mendapati bahawa kandungan kimia air bawah tanah bagi Fe^{3+} dan Mn^{2+} adalah tinggi serta

nilai $\text{pH} < 6$. Air bawah tanah telah ditapis dengan menggunakan kaedah penapisan konvensional yang biasa digunakan namun didapati kaedah ini kurang sesuai dan tidak dapat menurunkan kandungan Fe^{3+} dan Mn^{2+} sehingga mematuhi panduan sebagai air minuman oleh WHO (2011). Akibatnya, air bawah tanah ini tidak dapat digunakan sebagai air minuman.

1.5 Objektif

Objektif utama kajian ini adalah untuk;

- (a) Untuk menentukan mineralogi serta kandungan geokimia batuan dan tanah.
- (b) Untuk menentukan ciri-ciri fizikal dan geokimia air bawah tanah.
- (c) Untuk mengenalpasti proses geokimia yang terlibat serta pengaruh interaksi antara air dan batuan yang mengandungi mineral terhadap komposisi geokimia air bawah tanah.

1.6 Skop Kajian

Kajian dijalankan dengan mengenalpasti proses geokimia yang berlaku akibat interaksi air dan batuan yang mempengaruhi komposisi kimia air bawah tanah dan menyebabkan perbezaan yang ekstrem di kedua-dua lokasi kajian. Seterusnya, kajian juga bertujuan untuk menilai kesan komposisi geokimia air yang ekstrem terhadap kualiti air bawah tanah berdasarkan kepada panduan yang ditetapkan oleh WHO (2011) untuk air minuman. Beberapa logam berat seperti Cu, Pb, Zn, As dan Sn didapati hadir dalam sampel air yang diambil dari beberapa telaga tiub sedia ada di selatan Pulau Labuan (Moayed et. al, 2011).

Kajian dijalankan dengan mengumpul bukti-bukti geologi dan hidrogeologi yang dapat memberi petunjuk terhadap punca komposisi geokimia air bawah tanah yang ekstrem. Ini termasuklah pengukuran ciri-ciri fizikal air di lapangan, pengutipan sampel air bawah tanah dan air permukaan, pengutipan sampel batuan

dan tanah serta analisis kimia di makmal. Analisa data-data fizikal dan kimia dijalankan untuk mencapai objektif yang ditetapkan.

Melalui kajian ini, dijangkakan bahawa komposisi geokimia air bawah tanah adalah berhubung kait secara rapat dengan proses geokimia dan litologi batuan. Komposisi kimia air dipengaruhi oleh proses geokimia yang berlaku akibat dari pendedahan, peluluhawaan serta proses geokimia lain melibatkan interaksi antara air dan batuan.

1.7 Limitasi Kajian

Lokasi kajian yang dipilih tidak mempunyai data-data telaga tiub yang dalam (*deep well*). Oleh yang demikian, kajian adalah tertumpu dengan membuat analisa data geologi di lapangan serta data sampel air dari telaga piezometer (kedalaman sehingga 10.5m) yang dibina di kedua-dua lokasi. Oleh sebab itu, analisa dan interpretasi data sangat terhad sehingga paras kedalaman sehingga 10.5 m sahaja. Atas kekangan kos, pembinaan telaga piezometer hanya dibuat pada lokasi yang terpilih sahaja yang dianggap mewakili secara am kawasan kajian serta boleh mencapai objektif dan tujuan kajian.

Selain itu, disebabkan Formasi Belait mempunyai ketebalan serta variasi peralihan dan kandungan kimia yang berbeza-beza maka cerapan data yang diperolehi mungkin berbeza pada kadar kedalaman tertentu serta di lokasi yang lain. Kajian lebih lanjut diperlukan bagi mengenalpasti proses geokimia serta pengaruh kedalaman akuifer terhadap kandungan kimia air di kawasan ini.

1.8 Kepentingan Kajian

Kajian ini penting dijalankan kerana;

- a) Air bawah tanah adalah sumber air yang penting bagi penduduk Pulau Labuan. Kualiti air adalah aspek penting yang diutamakan sebelum air dibekalkan kepada orang ramai. Air yang tidak menepati panduan

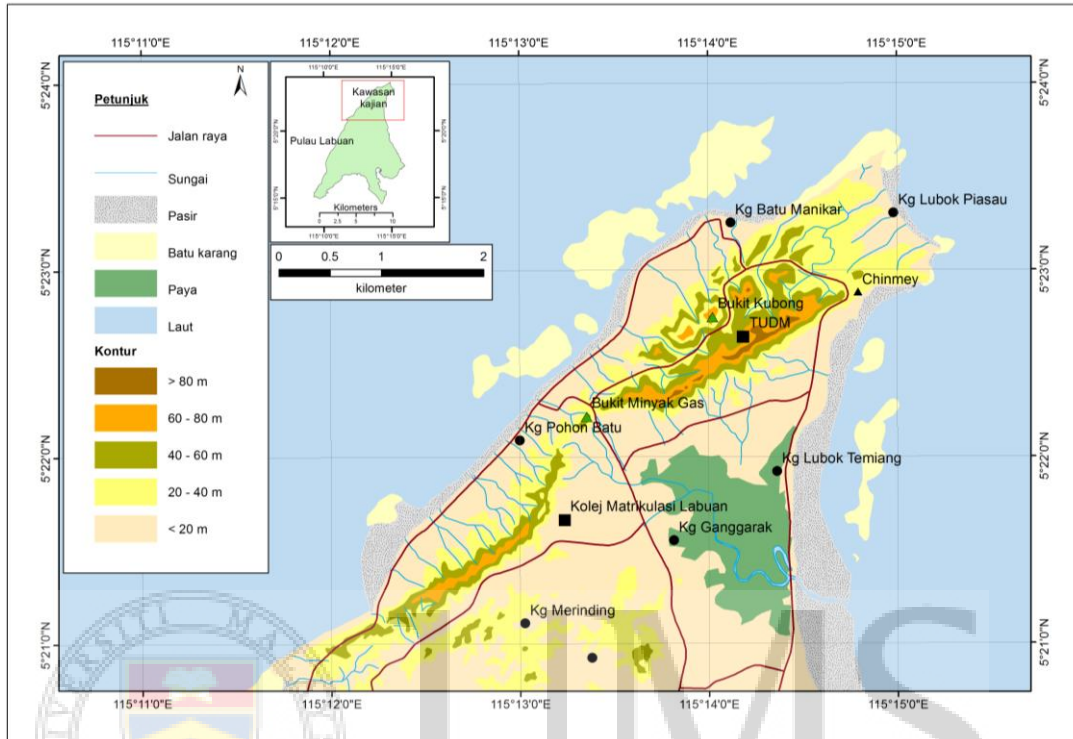
sebagai air minuman oleh WHO (2011) atau MOH (2004) tidak sesuai digunakan sebagai air minuman.

- b) Interaksi batuan dan air bawah tanah merupakan salah satu penyebab utama kepada pencemaran semulajadi air bawah tanah namun biasanya dipacu oleh kegiatan manusia melalui pembukaan dan pendedahan batuan melalui pengkuarian, perlombongan dan pembinaan penempatan. Kajian yang dijalankan boleh membantu pihak berkuasa tempatan menilai impak terhadap air bawah tanah serta alam sekitar sebelum perancangan pembangunan dilaksanakan terutamanya di kawasan Formasi Belait.
- c) Maklumat geokimia air yang diperolehi boleh digunakan sebagai panduan awal pengekstrakan air bawah tanah terutamanya di dalam Formasi Belait. Maklumat-maklumat ini boleh membantu penilaian awal kesesuaian air bawah tanah sebagai air minuman.
- d) Kajian ini boleh membantu menyelesaikan beberapa masalah disebabkan nilai pH air yang rendah serta kandungan Fe dan Mn yang tinggi dari beberapa telaga tiub yang dibina di Pulau Labuan. Nilai pH merupakan komponen kimia air yang penting kerana air bawah tanah yang mempunyai pH rendah akan meningkatkan kadar keterlarutan (*solubility*) dan *mobility* (pergerakan) unsur dalam air bawah tanah. Akibatnya, unsur-unsur seperti Fe dan Mn sukar untuk ditapis melalui sistem penapisan konvensional.

1.9 Topografi dan Saliran

Topografi kawasan utara Pulau Labuan kebanyakannya beralun dengan puncak tertinggi adalah Bukit Kubong dengan ketinggian 94 m dari paras air laut (Rajah 1.2). Bukit-bukit batu pasir merupakan kawasan penting tadahan air sebagai imbuhan kepada akuifer air bawah tanah dalam Formasi Belait. Sungai-sungai kecil

adalah bermusim dan berasal dari bukit batu pasir dan biasanya kering pada musim kemarau.



Rajah 1.2 : Peta topografi kawasan kajian di utara Pulau Labuan
Sumber : Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM, 2006)

1.10 Iklim

Pulau Labuan beriklim hutan hujan tropika tanpa musim kering yang nyata dengan suhu di antara 25 °C to 32 °C. Suhu panas biasanya berlaku pada bulan Mac hingga April. Purata hujan bulanan adalah tertinggi pada bulan Oktober manakala paling rendah pada Februari hingga April (Rajah 1.3). Hujan memainkan peranan penting terhadap pergerakan dan aliran air bawah tanah di mana paras air bawah biasanya lebih tinggi pada musim hujan.

Pada tahun 2014, hujan yang diterima oleh Pulau Labuan adalah tinggi pada November hingga Januari manakala rendah pada Februari hingga April (Rajah 1.4). Pada bulan Januari, hujan adalah sehingga 550.0 mm manakala pada bulan