

**KAJIAN KEBERKESANAN POTENSI BAHAN  
TERPILIH UNTUK RAWATAN PENGALIRAN  
ASID LOMBONG DI BEKAS LOMBONG  
TEMBAGA MAMUT, RANAU, SABAH**



**AFFENDY BIN DERISA**

**UMS**  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**INSTITUT BIOLOGI TROPIKA DAN  
PEMULIHARAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH  
2014**

**KAJIAN KEBERKESANAN POTENSI BAHAN  
TERPILIH UNTUK RAWATAN PENGALIRAN  
ASID LOMBONG DI BEKAS LOMBONG  
TEMBAGA MAMUT, RANAU, SABAH**

**AFFENDY BIN DERISA**



**TESIS INI DIKEMUKAKAN UNTUK  
MEMENUHI SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH  
SARJANA SAINS**

**INSTITUT BIOLOGI TROPIKA DAN  
PEMULIHARAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH  
2014**

## PENGAKUAN

Saya akui kajian ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan, ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

14 Julai 2014

---

Affendy Bin Derisa  
(PP2009-8233)



UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**PENGESAHAN**

NAMA : **AFFENDY BIN DERISA**

NO. MATRIK : **PP2009-8233**

TAJUK : **KAJIAN KEBERKESANAN POTENSI BAHAN TERPILIH  
UNTUK RAWATAN PENGALIRAN ASID LOMBONG DI  
BEKAS LOMBONG TEMBAGA MAMUT, RANAU, SABAH**

IJAZAH : **SARJANA SAINS (PROSES EKOLOGI)**

TARIKH VIVA : **14 FEBRUARI 2014**



**DISAHKAN OLEH**

**UMS**  
Tandatangan  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

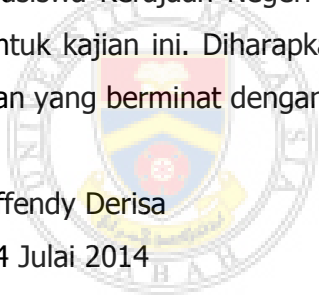
---

## PENGHARGAAN

Penghargaan tidak terhingga ditujukan kepada keluarga yang sentiasa memberi sokongan dan dorongan dalam menyiapkan kajian ini. Penghargaan buat Penyelia saya Dr. Kartini Saibeh yang sentiasa memberikan nasihat dan panduan dalam menyiapkan kajian ini. Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam membantu saya sepanjang kajian ini dijalankan terutamanya kepada Pn. Aminatul Hawa yang banyak membantu saya dalam mengendalikan data, Fera Cleopas, Jessie Beliku, Bibi Noralijannah di atas panduan teknikal dan seterusnya kepada Jabatan Mineral dan Geo-Sains Kota Kinabalu terutamanya staf di Makmal Air dan Batu, di atas bantuan teknikal, pengangkutan, makmal dan kepakaran yang diberikan sepanjang kajian dijalankan. Terima kasih tak terhingga juga kepada badan penaja saya iaitu Kerajaan Negeri Sabah melalui Biasiswa Kerajaan Negeri Sabah yang diberikan bagi menampung keperluan saya untuk kajian ini. Diharapkan penulisan tesis ini memberi manfaat kepada pengkaji dan yang berminat dengan kerja pemuliharaan.

Affendy Derisa

14 Julai 2014



## ABSTRAK

Kajian telah dijalankan untuk menilai potensi keberkesanan bahan rawatan terpilih seperti batu pasir berkapur (BPK), batu serpentin (BS), sekam padi (SP) dan juga kompos kelapa sawit (KKS) dalam merawat pengaliran asid lombong yang mengalir dari Tasik bekas Lombong Tembaga Mamut yang bercirikan pH rendah, logam berat dan ion sulfat yang berkepekatan tinggi. Potensi keberkesanan setiap bahan ini telah dinilai menggunakan satu siri susunan, 4 – 6 tangki polivinil klorida (PVK) berkapasiti 800 liter untuk setiap satunya. Batu pasir berkapur (BPK) telah menggunakan empat tangki yang diisikan dengan BPK sebanyak  $500 \pm 10\text{kg}$  bersama  $100 \pm 10\text{kg}$  tanah hitam. Batu serpentin (BS) menggunakan sebanyak 6 tangki yang telah diisikan dengan  $500 \pm 10\text{kg}$  BS. Kombinasi batu serpentin (BS) dan sekam padi (SP) telah menggunakan sebanyak empat tangki. Dua tangki pertama yang berisi  $500 \pm 10\text{kg}$  BS telah ditambah dan diisikan dengan  $200 \pm 10\text{kg}$  sekam padi (SP) dan dua tangki terakhir lagi berisi  $500 \pm 10\text{kg}$  BS. Kombinasi batu serpentin (BS), sekam padi (SP) dan juga kompos kelapa sawit (KKS) telah menggunakan sebanyak enam tangki, dua tangki pertama telah diisikan dengan  $500 \pm 10\text{kg}$  BS dan  $200 \pm 10\text{kg}$  SP, dua tangki seterusnya diisikan dengan  $500 \pm 10\text{kg}$  BS dan dua tangki PVK terakhir diisikan dengan  $500 \pm 10\text{kg}$  BS bersama  $200 \pm 10\text{kg}$  kompos kelapa sawit (KKS). Sebuah lagi susunan yang sama telah dibina untuk setiap bahan rawatan bagi tujuan replikasi dan 500ml untuk setiap siri susunan di tangki terakhir telah diambil dalam tempoh 24 tempoh tindak balas untuk tujuan analisis. Keputusan menunjukkan bagi setiap aliran bacaan pH akhir adalah pH 5.96, 4.46, 6.51 dan 6.93; julat peratusan penyingkiran logam berat adalah 12.83 – 99.28, 73.21 – 93.55, 47.79 – 96.22 dan 94.27 – 99.21%; dan julat peratusan ion sulfat adalah 8.03, 0.19, 5.01 dan 5.43%. Dapatan kajian menunjukkan terdapat perbezaan signifikan di antara bahan peneutralan dalam mempengaruhi peningkatan pH ( $F(3,36) = 62.6, p < .05$ ); dan pengurangan kepekatan logam berat ( $F(3,60) = 6.09, p < .05$ ). Ujian *Tukey's* HSD menunjukkan bahawa bahan peneutralan seperti BS, kurang berkesan meningkatkan pH secara signifikan berbanding dengan penggunaan bahan yang lain. Dalam ujian yang sama, hanya bahan peneutralan kombinasi (BS, SP dan KKS) yang kurang berkesan dalam mengurangkan kepekatan logam berat. Didapati semua bahan yang digunakan hanya mempengaruhi 1.21% kepada pengurangan kepekatan ion sulfat ( $r^2 = .012$ ). Berdasarkan keputusan ujikaji juga, aliran keluar daripada tangki rawatan mematuhi Akta Kualiti persekitaran – Malaysia 1974, Kualiti Persekitaran (Undang-undang Sisa Perindustrian dan Kumbahan, 1979) yang diringkaskan di dalam Piawaian dan Garis Panduan Kualiti Air Kebangsaan.

## **ABSTRACT**

### **POTENTIAL EFFICIENCY OF SELECTED MATERIALS FOR THE TREATMENT OF ACID MINE DRAINAGE IN EX-MAMUT COPPER MINE, RANAU, SABAH**

*A study was conducted to evaluate the potential efficiency of the selected treatment material such as calcareous sandstone (CCS), serpentine stone (SS), rice husk (RH) and palm oil compost (POC) in the treatment of acid mine drainage water that flows from the former Mamut Copper Mine characterized by low pH, and high level of heavy metals and sulfate ion concentration. The potential effectiveness of these four materials were evaluated by using a series arrangement of 4-6 polyvinyl chloride (PVC) tanks which have a capacity of 800 liters each. Calcareous sandstone (CPC) used four tanks filled with CCS of 500±10kg together with 100±10kg of topsoil. Serpentine stone (SS) used a total of 6 tanks filled with 500 ± 10 kg each. Combination of serpentine stone (SS) and rice husk (SP) used a total of four tanks. The first two tanks filled with 500 ± 10 kg BS, and the last two tanks filled with 200 ± 10 kg of rice husk (RH) and 500 ± 10 kg of SS. Combination of serpentine stone (SS), rice husks (RH) and palm oil compost (POC) used a total of six tanks. The first two tanks were filled with 500 ± 10 kg of SS and 200 ± 10 kg of RH, two following tanks filled with 500 ± 10kg of SS and the last two tanks were filled with 500 ± 10kg of SS with 200 ± 10 kg of palm oil compost (POC). Another similar arrangement constructed for each treatment materials for the purpose of replication and 500ml was taken at the last tank in the last 24-hour retention time for analysis. Results showed that for every materials used, the final pH readings were pH 5.96, 4:46, 6:51 and 6.93; Heavy metal removal percentage range were 12.83 - 99.28, 73.21 - 93.55, 47.79 - 96.22 and 94.27 - 99.21%; and the range of the removal percentage of sulphate ion were 8:03, 0:19, 5:01 and 5:43% respectively. The statistical analysis showed that there is significant difference among the neutralization materials used in increasing pH ( $F(3,36) = 62.6, p < .05$ ); and decreasing heavy metals concentration ( $F(3,60) = 6.09, p < .05$ ). Tukey's HSD test was performed and it was found that neutralization material, BS was less effective increasing pH significantly and it was found that only the used of combination of SS, RH and POC was less effective in decreasing heavy metals concentration compared to other materials. The used materials were found that affecting only 1.21% on the effect of decreasing sulphate ions concentration ( $r^2 = .012$ ). Based on the experiment results, the outflow from treatment tanks is comply to the Environmental Quality Act – Malaysia 1974, Environmental Quality (Industrial Effluent, 1979) which are simplified in the National Water Quality Guidelines and Standard.*

## ISI KANDUNGAN

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>TAJUK</b>                                     | i       |
| <b>PENGAKUAN</b>                                 | ii      |
| <b>PENGESAHAN</b>                                | iii     |
| <b>PENGHARGAAN</b>                               | iv      |
| <b>ABSTRAK</b>                                   | v       |
| <b><i>ABSTRACT</i></b>                           | vi      |
| <b>SENARAI KANDUNGAN</b>                         | vii     |
| <b>SENARAI JADUAL</b>                            | xi      |
| <b>SENARAI RAJAH</b>                             | xii     |
| <b>SENARAI FOTOMIKROGRAF/FOTO</b>                | xiii    |
| <b>SENARAI SINGKATAN/SIMBOL</b>                  | xiv     |
| <b>SENARAI LAMPIRAN</b>                          | xvi     |
| <br>   |         |
| <b>BAB 1: PENGENALAN</b>                         |         |
| 1.1 Latar Belakang Pengaliran Asid Lombong (PAL) | 1       |
| 1.2 Objektif Kajian                              | 2       |
| 1.3 Pendekatan dan Skop Kajian                   | 2       |
| <br>   |         |
| <b>BAB 2: ULASAN LITERATUR</b>                   |         |
| 2.1 Pembentukan Pengaliran Asid Lombong          | 4       |
| 2.2 Pengaliran Asid Lombong di Malaysia          | 5       |
| 2.2.1 Faktor Hidrologi dan Pembentukan PAL       | 5       |
| 2.2.2 Faktor Geologi dan Pembentukan PAL         | 6       |
| 2.3 Kesan Pengaliran Asid Lombong (PAL)          | 6       |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.3.1 | Kontaminasi Air Permukaan                                | 8  |
| 2.3.2 | Ancaman Hidupan Akuatik                                  | 8  |
| 2.3.3 | Kontaminasi Sedimen                                      | 10 |
| 2.3.4 | Pencemaran Air Bawah Tanah                               | 11 |
| 2.4   | Kesan PAL di Sungai Setempat Sekitar Mamut, Ranau, Sabah | 11 |
| 2.4.1 | Sungai Bambangan – Liwagu                                | 12 |
| 2.4.2 | Sungai Lohan   | 12 |
| 2.4.3 | Sungai Mamut/ Langanan                                   | 12 |
| 2.5   | Teknologi Rawatan Pengaliran Asid Lombong (PAL)          | 13 |
| 2.5.1 | Rawatan Aktif  | 13 |
| 2.3.2 | Rawatan Pasif  | 14 |
| 2.6   | Rawatan Menggunakan Material Alternatif                  | 15 |

### **BAB 3: BAHAN DAN METODOLOGI**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.1   | Tempat Kajian                                     | 18 |
| 3.2   | Pencirian dan Sumber Bahan Rawatan Terpilih       | 18 |
| 3.2.1 | Keputusan Perincian Material                      | 19 |
| 3.2.2 | Analisis Keratan Nipis                            | 19 |
|       | a. Spesimen 1                                     | 20 |
|       | b. Spesimen 2                                     | 21 |
| 3.2.3 | Ciri-ciri Sekam Padi                              | 21 |
|       | a. Analisis Sekam Padi                            | 22 |
|       | b. Taburan Saiz Liang Sekam Padi                  | 23 |
| 3.2.4 | Spektroskopi FTIR Sekam Padi                      | 24 |
| 3.2.5 | Ciri-Ciri Kompos Kelapa Sawit                     | 24 |
| 3.3   | Reka Bentuk dan Kaedah Ujikaji                    | 25 |
| 3.3.1 | Batu Pasir Berkapur (BPK)                         | 25 |
| 3.3.2 | Batu Serpentin (BS)                               | 26 |
| 3.3.3 | Kombinasi Batu Serpentin (BS) dan Sekam Padi (SP) | 27 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.3.4 | Kombinasi Batu Serpentin (BS), Sekam Padi (SP) dan Kompos Kelapa Sawit (KKS) | 29 |
| 3.4   | Metodologi Analitikal  | 30 |
| 3.5   | Analisis Data  | 31 |
| 3.5.1 | Ujian Statistik  | 31 |

#### **BAB 4: KEPUTUSAN**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1   | Pencirian Fizio-Kimia Aliran Masuk dan Keluar PAL                  | 32 |
| 4.1.1 | Bacaan pH  | 32 |
| 4.1.2 | Bacaan Kepekatan Logam Berat (mg/L)                                | 33 |
| 4.1.3 | Bacaan Kepekatan Ion Sulfat, $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)             | 35 |
| 4.2   | Penentuan Kaedah-Kaedah yang Berkesan untuk Mengurangkan Kesan PAL | 36 |
| 4.2.1 | Bacaan pH  | 36 |
| 4.2.2 | Kepekatan Logam Berat  | 37 |
| 4.2.3 | Kepekatan Ion Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )                        | 37 |

#### **BAB 5: PERBINCANGAN**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 5.1 | Bacaan pH                                       | 39 |
| 5.2 | Kepekatan Logam Berat (mg/L)                    | 40 |
| 5.3 | Kepekatan Ion Sulfat, $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L) | 43 |
| 5.4 | Kaedah yang Berkesan Merawat PAL                | 44 |

#### **BAB 6: KESIMPULAN DAN CADANGAN**

|     |            |    |
|-----|------------|----|
| 6.1 | Kesimpulan | 46 |
| 6.2 | Cadangan   | 46 |

|                |    |
|----------------|----|
| <b>RUJUKAN</b> | 48 |
|----------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| <b>LAMPIRAN A</b> | 56 |
|-------------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| <b>LAMPIRAN B</b> | 57 |
| <b>LAMPIRAN C</b> | 58 |
| <b>LAMPIRAN D</b> | 59 |
| <b>LAMPIRAN E</b> | 60 |
| <b>LAMPIRAN F</b> | 62 |
| <b>LAMPIRAN G</b> | 63 |
| <b>LAMPIRAN H</b> | 64 |
| <b>LAMPIRAN I</b> | 65 |
| <b>LAMPIRAN J</b> | 66 |
| <b>LAMPIRAN K</b> | 67 |



**UMS**  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## SENARAI JADUAL

|            | Halaman  |    |
|------------|--|----|
| Jadual 3.1 | Komposisi batu pasir berkapur dan batu serpentin   | 19 |
| Jadual 3.2 | Komposisi debu tidak organik dalam sekam padi  | 22 |
| Jadual 4.1 | Keputusan ujian ANOVA sehala untuk bacaan pH   | 36 |
| Jadual 4.2 | Keputusan ujian ANOVA sehala untuk kepekatan logam berat (mg/L) antara material                                | 37 |
| Jadual 4.3 | Keputusan ujian korelasi untuk kepekatan ion sulfat penyingkiran ions sulfat untuk setiap jenis bahan terpilih | 38 |



UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## SENARAI RAJAH

|           |  | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Rajah 2.1 | Peta struktur geologi kawasan Tasik bekas Lombong Tembaga Mamut (Rujuk keratan rentas A-A' dan B-B' dalam Lampiran E)  | 7       |
| Rajah 2.2 | Laluan akumulasi logam berat   | 9       |
| Rajah 3.1 | Lokasi kajian rawatan pemulihan PAL di kawasan bekas lombong tembaga Mamut, Daerah Ranau, Sabah  | 18      |
| Rajah 3.2 | Spesifikasi model yang dipasang di tapak kajian  | 25      |
| Rajah 3.3 | Sistem aliran BPK (a) Skematik aliran BPK; (b) saiz batu blok; (c) batu pasir berkapur dengan saiz blok dan kerikil  | 26      |
| Rajah 3.4 | Sistem aliran BS; (a) Skematik aliran BS; (b) Spesifikasi unit tangki aliran BS; (c) Saiz batu serpentin (BS)  | 27      |
| Rajah 3.5 | Aliran BS dan SP; (a) Skematik aliran BS dan SP; (b) Spesifikasi unit tangki BS dan SP; (c) Tangki berisi sekam padi   | 28      |
| Rajah 3.6 | Sistem aliran BS, SP dan KKS; (a) Skematik aliran BS, SP dan KKS; (b&c) Spesifikasi unit tangki aliran BS, SP dan KKS; (d) kompos kelapa sawit   | 29      |
| Rajah 4.1 | Bacaan purata pH melawan masa (jam) untuk bahan BPK, BS, kombinasi BS bersama SP dan kombinasi BS, SP dan KKS dalam keadaan pegun (0.00L/s) tempoh 24 jam  | 32      |
| Rajah 4.2 | Bacaan purata kepekatan logam berat (mg/L) bagi setiap jenis logam berat untuk kepekatan asal (Kolam PAL), dan bahan BPK, BS, kombinasi BS bersama SP dan kombinasi BS, SP dan KKS dalam keadaan pegun (0.00L/s) tempoh 24 jam | 33      |
| Rajah 4.3 | Bacaan kepekatan purata ion sulfat (mg/L) bagi kepekatan asal (kolam PAL) dan kepekatan selepas rawatan untuk bahan BPK, BS, kombinasi BS bersama SP dan kombinasi BS, SP dan KKS dalam keadaan pegun (0.00 L/s) tempoh 24 jam | 35      |

## SENARAI FOTOMIKROGRAF / FOTO

|                   |   | Halaman |
|-------------------|---|---------|
| Fotomikrograf 3.1 | Mineral yang wujud di dalam batu pasir berkapur (BPK) menunjukkan kehalusan hablur kuarza dan simen kalsit                                      | 20      |
| Fotomikrograf 3.2 | Mineral yang hadir di dalam batu serpentin (BS) membentuk corak jalinan   | 21      |
| Foto 3.1          | Mesin Spektrofotometer Pancaran Optik-Plasma Gandingan Aruhan ( <i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer, ICP-OES</i> ) | 31      |



UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## SENARAI SINGKATAN/SIMBOL

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <b>ak</b>                          | akues   |
| <b>ANOVA</b>                       | Ujian Analisis Varians ( <i>Analysis of Variance Test</i> )   |
| <b>APHA</b>                        | Persatuan Kesihatan Awam Amerika ( <i>American Public Health Association</i> )  |
| <b>A<sup>0</sup></b>               | Unit Angstrom   |
| <b>a.m</b>                         | aliran masuk  |
| <b>a.k</b>                         | aliran keluar   |
| <b>BET</b>                         | <i>Brunauer-Emmett-Teller</i>   |
| <b>BJH</b>                         | <i>Barret-Joyner-Halenda</i>  |
| <b>BPK</b>                         | Batu Pasir berKapur   |
| <b>BS</b>                          | Batu Serpentin  |
| <b>cm<sup>3</sup>/g</b>            | gram/ kubik meter   |
| <b>CSS</b>                         | <i>Calcareous sandstone</i>   |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b>            | Kalsium karbonat  |
| <b>CO<sub>2</sub></b>              | Karbon dioksida   |
| <b>d</b>                           | Diameter  |
| <b>df</b>                          | darjah kebebasan ( <i>degree of freedom</i> )   |
| <b>F (F-ratio)</b>                 | Nilai nisbah-F (nisbah varians)   |
| <b>Fe</b>                          | Ferum   |
| <b>Fe(OH)<sub>3</sub></b>          | Ferik hidroksida  |
| <b>FeS<sub>2</sub></b>             | Besi Sulfida  |
| <b>FeS<sup>2+</sup></b>            | Ferik Sulfida   |
| <b>Fe<sup>2+</sup></b>             | Ion Ferus   |
| <b>Fe<sup>3+</sup></b>             | Ion Ferik   |
| <b>FTIR</b>                        | <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>  |
| <b>g/g</b>                         | <i>grams per gram</i>   |
| <b>H</b>                           | Hidroksida  |
| <b>H<sup>+</sup></b>               | Ion Hidrogen  |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>              | Air   |
| <b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> | Ion bikarbonat  |
| <b>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b> | Asid karbonik   |
| <b>ICP</b>                         | <i>Inductively Coupled Plasma</i> (Plasma Gandingan Aruhan)   |
| <b>ICP-OES</b>                     | <i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometer</i><br>(Spektrofotometer Pancaran Optik-Plasma Gandingan Aruhan) |
| <b>KKS</b>                         | Kompos Kelapa Sawit   |
| <b>Kg/m<sup>3</sup></b>            | kilogram padu   |
| <b>MJ/kg</b>                       | megajol / kilogram  |
| <b>µm</b>                          | mikrometer  |
| <b>mm</b>                          | milimeter   |
| <b>mg/L</b>                        | milligram per liter   |
| <b>m<sup>2</sup>/g</b>             | gram/ luas permukaan  |
| <b>mL</b>                          | milliliter  |
| <b>PAL</b>                         | Pengaliran Asid Lombong   |
| <b>POC</b>                         | <i>Palm Oil Compost</i>   |
| <b>PVK</b>                         | Polivinil klorida   |
| <b>PVC</b>                         | Polyvinyl chloride  |

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>RH</b>                          | <i>Rice Husks</i>                                  |
| <b>RCOOH</b>                       | Kumpulan karboksil                                 |
| <i>r</i>                           | Pekali korelasi ( <i>Correlation Coefficient</i> ) |
| <i>r</i> <sup>2</sup>              | nilai varians                                      |
| <b>SP</b>                          | Sekam Padi   |
| <b>SS</b>                          | <i>Serpentine Stone</i>                            |
| <b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> | Ion Sulfat   |
| <b>Sig.</b>                        | Signifikan   |
| <b>XRF</b>                         | <i>X-Ray Fluorescent</i> (Sinar X-berpendaflor)    |
| <b>≡Si-OH</b>                      | Kumpulan silanol                                   |
| <                                  | kurang daripada                                    |
| >                                  | melebihi   |
| %                                  | Peratusan  |
| ±                                  | Tambah tolak                                       |



**UMS**  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH



## SENARAI LAMPIRAN

|            | Halaman   |    |
|------------|---|----|
| Lampiran A | Bacaan asal pH tangki ujikaji batu pasir berkapur (BPK);<br>Bacaan kepekatan asal logam berat dalam kolam utama dan<br>tangki ujikaji BPK; bacaan kepekatan asal ion sulfat dalam<br>tangki ujikaji BPK (mg/L)  | 56 |
| Lampiran B | Bacaan asal pH tangki ujikaji batu serpentin (BS); bacaan<br>kepekatan asal logam berat dalam tangki ujikaji BS (mg/L);<br>bacaan kepekatan asal ion sulfat dalam tangki<br>ujikaji BS (mg/L)   | 57 |
| Lampiran C | Bacaan asal pH tangki ujikaji batu serpentin (BS) bersama<br>sekam padi (SP); bacaan kepekatan asal logam berat dalam<br>tangki ujikaji Batu serpentin (BS) bersama sekam padi (SP);<br>bacaan kepekatan asal ion sulfat untuk kolam bekas lombong<br>dan tangki ujikaji batu serpentin (BS) bersama sekam padi (SP)  | 58 |
| Lampiran D | Bacaan asal pH tangki ujikaji batu serpentin (BS), sekam padi<br>(SP) dan kompos kelapa sawit (KKS); bacaan kepekatan asal<br>logam berat dalam tangki ujikaji Batu serpentin (BS), sekam<br>padi (SP) dan kompos kelapa sawit (KKS); bacaan kepekatan<br>asal ion sulfat untuk kolam bekas lombong dan tangki ujikaji<br>batu serpentin (BS), sekam padi (SP) dan kompos kelapa sawit<br>(KKS) | 59 |
| Lampiran E | Piawai Kualiti Air Interim Malaysia (INWQS)   | 60 |
| Lampiran F | Struktur Keratan Rentas geologi Tasik Bekas Lombong Mamut   | 62 |
| Lampiran G | Keputusan Ujian <i>Posthoc</i> dan <i>Homogeneous Subsets</i><br>(Bacaan pH)  | 63 |
| Lampiran H | Keputusan Ujian <i>Means Plot</i> (Bacaan pH)   | 64 |
| Lampiran I | Keputusan Ujian <i>Posthoc</i> dan <i>Homogeneous Subsets</i><br>(Kepekatan logam berat)  | 65 |
| Lampiran J | Keputusan Ujian <i>Means Plot</i> (Kepekatan logam berat)   | 66 |
| Lampiran K | Seminar/ Simposium/ Persidangan yang telah dihadiri   | 67 |

# BAB 1

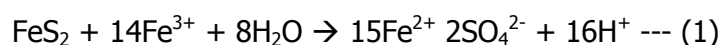
## PENGENALAN

### 1.1 Latar belakang Pengaliran Asid Lombong (PAL)

Pengaliran asid lombong (PAL) yang dikesan wujud melalui beberapa aliran anak sungai setempat di Daerah Ranau, Sabah adalah berpunca daripada aliran air keluar bekas lombong tembaga Mamut. PAL merupakan antara pencemaran teruk yang berlaku pada peringkat setempat (Jopony *et al.*, 2002; Ali *et al.*, 2004 dan Abdullah *et al.*, 2008).

Aliran air keluar daripada bekas lombong ini mengandungi jujuk pencemar PAL yang bersifat organik dan sifat jujuk pencemar ini adalah tidak seperti jujuk pencemar organik yang lain. Ini kerana, (Akcil dan Koldas, 2006) proses biologikal dan kimia yang ringkas dan mudah tidak mudah untuk melupuskan sifat jujuk ini. Antara kesan utama jujuk pencemar ini apabila memasuki sumber air yang tidak tercemar adalah merendahkan kualiti air tersebut. Ciri-ciri kualiti air yang terganggu ini termasuklah bersifat asid, bacaan pH yang rendah, mengandungi kepukalan kepekatan logam berat yang tinggi seperti aluminium, besi, kuprum, zink dan plumbum. Tambahan itu, kehadiran ion sulfat juga adalah tinggi (Akcil dan Koldas, 2006).

Keadaan ini berlaku apabila mineral serta logam sulfat terdedah kepada persekitaran pengoksidaan dan proses luluhawa semulajadi. Namun kejadian yang disebabkan oleh proses semulajadi ini adalah bersifat kes terencil dan kesan pencemaran yang disebabkan juga adalah minima. Kedua proses ini digambarkan melalui tindak balas kimia ini (1):



Tindak balas ini menunjukkan keupayaan mencemar bagi pirit yang teroksida. Keupayaan ini disebabkan oleh hasil tindak balas satu mol pirit dan

menghasilkan sejumlah besar jujuk pencemar iaitu 16 mol hidrogen yang menyumbang kepada pembentukan keasidan air, 15 mol ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang menjadi faktor pengoksidaan dan seterusnya 2 mol ion sulfat  $\text{SO}_4^{2-}$  yang menyumbang kepada kepekatan sulfat di dalam air PAL. Tindak balas ini merupakan templat untuk tindak balas pengoksidaan untuk kebanyakan logam yang menjadi penyumbang utama kepada keasidan, sulfat dan logam ion ke persekitaran akuatik (Lottermoser, 2007).

Di Sabah, PAL merupakan kesan daripada lombong Mamut dan peningkatan tahap pencemaran air berada pada tahap yang membimbangkan dan mewujudkan kerisauan kepada penduduk setempat yang bergantung kepada bekalan air bersih daripada sungai yang telah dicemari oleh PAL ini (Jopony & Murtedza, 1994 dan Ali *et al.*, 2004). Justeru, keadaan ini memerlukan kepada satu cadangan ataupun tindakan penyelesaian agar ini boleh diperbaiki dengan kadar yang segera.

## **1.2 Objektif Kajian**

Kajian ini bertujuan untuk mereka, mengkaji sistem aliran air dan kaedah yang berkesan dalam sistem tanah bencah buatan untuk merawat aliran air keluar bekas lombong tembaga Mamut, Ranau, Sabah. Terdapat dua objektif utama:

1. Mencirikan fizio-kimia aliran keluar bekas lombong sebelum dan selepas termasuklah pH, logam berat dan ion sulfat terlarut dalam tempoh masa 24 jam.
2. Menentukan kaedah-kaedah untuk mengurangkan kesan pengaliran asid lombong (PAL).

## **1.3 Pendekatan dan Skop Kajian**

Pendekatan yang telah digunakan untuk kajian ini adalah menyeluruh yang melibatkan kombinasi rekaan dan kajian. Terdapat dua jenis bahan rawatan utama telah digunakan iaitu bahan yang berasaskan mineral dan organik. Kedua bahan ini telah diguna pakai untuk melihat potensi penutralan kapasiti timbalan rawatan untuk aliran air keluar lombong. Skop kajian merangkumi penyediaan data asas

yang telah diperolehi daripada kajian ini untuk membantu proses mereka bentuk rawatan yang sesuai untuk aliran asid lombong.

Penulisan disertasi ini adalah bertujuan melaporkan kerja pemulihan air yang mengguna pakai garis panduan yang digariskan oleh Jopony *et al.*, (2002) dan Ma dan Lin (2011). Bahan yang digunakan adalah seperti alternatif material peneutralan selain batu kapur seperti batu serpentin dan lebihan sisa industri pemprosesan pertanian yang boleh di dapati dengan kos yang ekonomik, malah mempunyai potensi untuk di majukan kerana penjanaan sisa pencemar sekunder yang minimum dan kurangnya penggunaan tenaga operasi secara berlebihan.

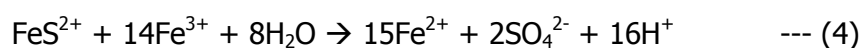
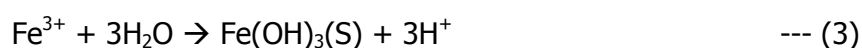
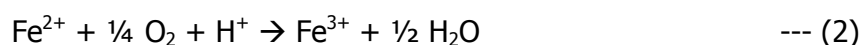
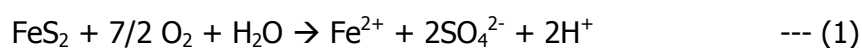
Penyelesaian masalah PAL ini telah beralih daripada bersifat konvensional ke arah yang lebih lestari, namun Kalin *et al.*, (2006) melihat sumber pencemaran ini adalah daripada aktiviti yang tidak mapan iaitu perlombongan dan adalah agak sukar untuk mencapai penyelesaian ideal itu. Secara idealnya, penyelesaian secara lestari itu adalah mengambil kira kos yang ekonomik, penjanaan sisa sekunder yang minimum, dan penggunaan tenaga yang efisien (Ma *et al.*, 2011). Kos merupakan parameter yang penting dalam membuat perbandingan antara material serapan. Namun, maklumat mengenai kos adalah terlalu sedikit dilaporkan dan selalunya kebanyakannya bergantung terhadap tahap pemprosesan dan tersedia sesuatu material. Secara umumnya, material peneutralan itu di klasifikasi ekonomik sekiranya material itu melalui sedikit pemprosesan, tersedia dengan banyak ataupun merupakan sisa sampingan daripada sesuatu industri (Bailey *et al.*, 1999).

## BAB 2

### ULASAN LITERATUR

#### 2.1 Pembentukan Pengaliran Asid Lombong (PAL)

Pengaliran asid merupakan fenomena yang boleh tercetus melalui dua cara sama ada secara semulajadi ataupun disebabkan oleh aktiviti manusia. Skousen *et al.*, (1998) dan Ziemkiewicz *et al.*, (2003) telah menerangkan proses pembentukan pengaliran asid secara semulajadi. Mereka menyatakan bahawa apabila logam sulfida yang terdapat dalam lapisan kerak bumi terdedah kepada persekitaran pengoksidaan; iaitu air, udara dan juga bakteria pengoksidaan seperti *Thiobacillus ferroxidans* (Gazea *et al.*, 1996) muncul. Logam penyumbang utama kepada pembentukan asid ialah pirit dan markasit. Apabila kesemua bahan ini wujud dan bergabung maka beberapa siri tindak balas kimia akan berlaku dan menghasilkan logam terlarut, sulfat dan keasidan. Logam terlarut yang dimaksudkan adalah logam berat dan menurut Hashim *et al.*, (2011), logam berat ini terhasil daripada gangguan perubahan pH tanah. Istilah logam berat ini merupakan istilah yang merujuk kepada sekumpulan logam dan metaloid dengan ketumpatan atomik melebihi 4000 kg/m<sup>3</sup>, ataupun ketumpatannya lima kali ganda berbanding air (Garbarino *et al.*, 1995). Pengaliran asid juga terhasil melalui cara kedua yang disebabkan oleh kegiatan manusia contohnya aktiviti perlombongan dan aliran ini yang dikenali dengan Pengaliran Asid Lombong (PAL). Pengaliran asid yang disebabkan oleh manusia adalah pada kadar yang lebih cepat dan tidak terkawal. Pengoksidaan jenis logam yang sama seperti pirit dan markasit diringkaskan dalam empat siri tindak balas kimia seperti berikut; (1) Pengoksidaan besi sulfida; (2) Pengoksidaan besi ferus; (3) Hidrolisis besi ferik; dan (4) Penggandaan pengoksidaan ion ferik sulfida (Kalin *et al.*, 2006).



Merujuk kepada persamaan yang pertama, apabila besi sulfide teroksidasi, ion besi besi ferus akan terbebas ( $\text{Fe}^{2+}$  bentuk besi terturun), bersama ion sulfat dan ion hidrogen. Ion besi ferus kemudian dioksidakan menghasilkan besi ferik,  $\text{Fe}^{3+}$ . Besi ferik ini melalui proses hidrolisis dalam peringkat seterusnya menghasilkan ferik hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , dan juga ion hidrogen,  $\text{H}^+$  (keasidan). Ferik hidroksida ini boleh bertindak balas dengan pirit secara langsung, malah bertindak sebagai mangkin untuk menghasilkan jumlah besi ferus, sulfat dan hydrogen (keasidan) dengan lebih banyak. Secara teknikalnya, PAL mempunyai ciri yang bersifat asid dan unik disebabkan kapasiti larut resap, digandakan oleh bakteria yang tertentu dan keupayaan untuk terjana sendiri.

## **2.2 Pengaliran Asid Lombong di Malaysia**

Terdapat pelbagai kajian berkenaan kesan bekas lombong amnya di Malaysia (Wan Zuhairi Wan Yaacob *et al.*, 2009) dan khususnya bekas lombong tembaga Mamut yang memfokuskan kepada kualiti air dan struktur geologi di Mamut, Ranau, Sabah (Mamut Copper Mine Sdn. Bhd., 1997; Jopony *et al.*, 2002; Abdullah Mohd. Harun *et al.*, 2008; Osborne dan Chappel Sdn. Bhd, 2009; Bibi Noorarljannah *et al.*, 2010; Baba Musta *et al.*, 2010; Fera, 2012). Menurut laporan Wan Zuhairi Wan Yaacob *et al.*, (2009), pembentukan PAL hanya berlaku di kawasan yang mempunyai timbunan sulfida yang terdedah kepada persekitaran, dan kejadian ini dapat dielakkan di sesetengah kawasan persampelan disebabkan kewujudan batu kapur secara semulajadi yang mengekang pembentukan PAL. Penemuan PAL di Sungai Lembing pula dikatakan bukannya berpunca secara langsung oleh pengaliran bekas lombong tetapi disebabkan oleh sisa buangan lombong ataupun tahi lombong yang berada di sekitar kawasan lombong yang terdedah kepada persekitaran pengoksidaan lalu menghasilkan air yang berasid dan masuk ke sungai (Wan Zuhairi Wan Yaacob *et al.*, 2009).

### **2.2.1 Faktor Hidrologi dan Pembentukan PAL**

Untuk peringkat tempatan seperti di Mamut, Ranau, Sabah, pembentukan PAL ini juga disebabkan oleh faktor seperti hidrologi (Fera, 2012; Kawi Bidin *et al.*, 2010). Laporan berkenaan hidrologi di kawasan bekas lombong tersebut secara spesifik menemui bahawa berdasarkan dataimbangan air, corak variasi jumlah air masuk dan air keluar dalamimbangan air tasik untuk setiap bulan menunjukkan bahawa

jumlah air masuk agak tinggi berbanding air keluar (Fera, 2012). Dari segi hidrologi, semasa hujan berlaku peningkatan kadar luahan air mempengaruhi peningkatan kadar pengangkutan mineral logam (Winter, 1995). Oleh yang demikian, dilaporkan bahawa proses pengoksidaan mineral sulfida tidak semestinya berlaku semasa air larian ini bersentuhan dengan batuan yang mengandungi logam disebabkan kadar pengoksidaan yang tidak menentu. Namun, kesan daripada peningkatan pengangkutan mineral sulfida yang membawa masuk kepekatan yang tinggi telah secara tidak langsung menyediakan bahan pengoksidaan pada kepekatan yang tinggi dan pengoksidaan boleh berlaku di dalam tasik (Lampkin dan Sommerfeld, 1986; Onwughara *et al.*, 2011).

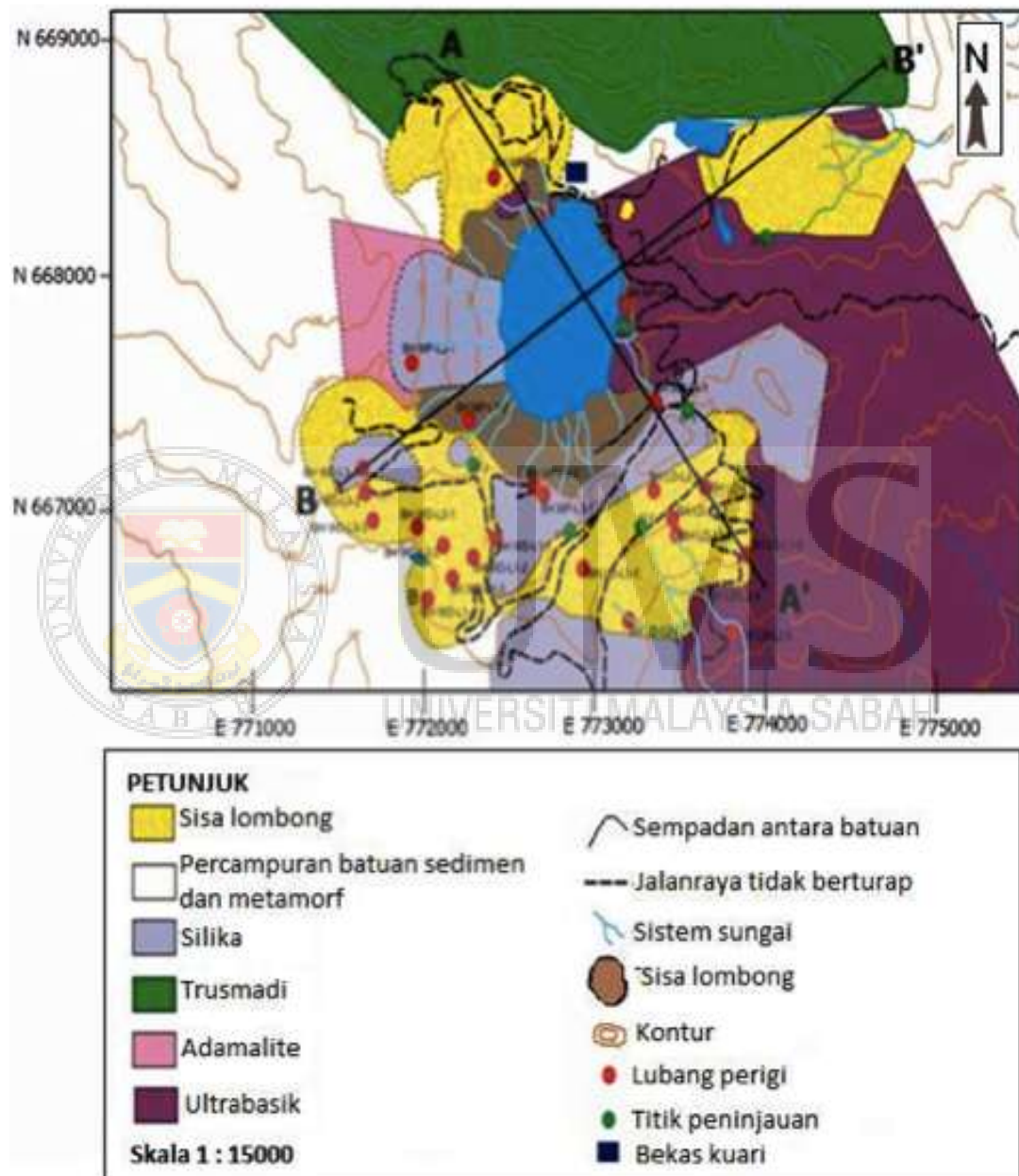
### **2.2.2 Faktor Geologi dan Pembentukan PAL**

Dari segi geologi, kawasan ini umumnya terletak pada rangkaian banjaran gunung yang curam dan terdiri daripada rejahan igneous yang menerobos Formasi Trusmadi, di bahagian timur tasik ini pula terdapat kewujudan batuan ultrabasik. Tasik ini juga dikelilingi oleh tapak pembuangan sisa lombong seperti Nesapang *Dump*, *North Dump*, dan Lohan *Dump* (Rajah 2.1). Kosaka dan Wakita (2006) dalam laporannya ada menyebutkan bahawa pemineralan kuprum di Mamut adalah berhubung kait dengan rejahan profiri adamelite yang kaya dengan kalsium karbonat dan terbentuk di dalam rejahan dan juga batuan dinding yang terbina daripada serpentinit dan jujukan batuan sedimentari klastik. Selepas proses hakisan dan luluhawa, proses larut lesap semula jadi yang melibatkan unsur-unsur logam dan elemen mineral berlaku di kawasan tasik. Keadaan ini menjelaskan tentang bagaimana kewujudan air tasik yang dicirikan oleh pH rendah dan logam berat yang berkepekatan tinggi, dan tambahan itu dinding tasik mempunyai kecerunan yang tinggi dan mengalami hakisan yang aktif kerana kekurangan tumbuhan litup bumi (Fera, 2012).

### **2.3 Kesan Pengaliran Asid Lombong (PAL)**

PAL mempunyai kesan yang teruk terhadap alam sekitar. Sekiranya PAL tidak dirawat sebelum dilepaskan masuk ke dalam sistem pengaliran semulajadi seperti sungai, air bawah tanah dan ekosistem sekitar seperti tanah-tanah, hal ini akan menyebabkan bahan pencemar daripada PAL akan mengubah kualiti air atau tanah yang dimasuki. Dalam beberapa kajian saintifik ada menyatakan kesan pencemar

PAL boleh menyebabkan kontaminasi air permukaan; ancaman kehidupan akuatik; kontaminasi sedimen dan pencemaran air bawah tanah (Macedo-Sousa *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2010; Lottermosser, 2007; Gray, 1998; DeNicola *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2007; Ma *et al.*, 2011; Dauvalter dan Rognerudb, 2001; Galan *et al.*, 2003; dan Liang-qi *et al.*, 2010).



**Rajah 2.1 : Peta struktur geologi kawasan Tasik bekas Lombong Tembaga Mamut (Rujuk keratan rentas A-A' dan B-B dalam Lampiran E)**

Sumber : Baba Musta (2010)