BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air Asam Tambang

Air asam tambang terbentuk sebagai hasil dari oksidasi mineral sulfida yang terdapat dalam batuan. Selain memiliki nilai pH yang rendah, air asam tambang juga memiliki kadar sulfat yang tinggi. Rendahnya nilai pH dari air asam tambang mampu meluruhkan dan membawa logam berat yang terkandung pada batuan yang dialiri oleh aliran air asam tambang. Karena keasaman dan kelarutan logam yang tinggi, air asam tambang dapat mencemari lingkungan sehingga harus dilakukan penanganan.

Adapun air asam tambang memiliki satu atau beberapa karakteristik kimia sebagai berikut:

1. pH rendah dengan kisaran 1,5 hingga 4.
2. Konsentrasi logam terlarut yang tinggi seperti besi, alumunium, mangan, kadmium, tembaga, timah, seng, arsenik dan merkuri. Untuk tambang batu bara logam yang terlarut umumnya Fe, Mn dan Al.
3. Nilai keasaman yang meningkat.
4. Salinitas yang tinggi dengan rentang 500-10.000 mg/L.
5. Konsentrasi oksigen terlarut yang rendah yaitu kurang dari 6 mg/L (Jurnal Geokimia Batuan Penutup Batubara Untuk Memprediksi potensi Air Asam Tambang).

2.2 Pembentukan Air Asam Tambang

Menurut Sayoga (2019) proses pembentukan air asam tambang terdiri atas beberapa tahapan reaksi. Reaksi pertama dimulai dengan oksidasi mineral pirit dengan kehadiran air. Produk yang dihasilkan dari reaksi pertama ini yaitu Fe^{2+} yang merupakan hasil dari proses oksidasi pirit dengan oksigen. Mineral sulfur akan dioksidasi menjadi sulfat dan kemudian Fe^{2+} dilepaskan. Reaksi ini adalah reaksi pelapukan yang akan menghasilkan 2 mol keasaman dari setiap mol pirit yang teroksidasi.

$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe^{2+} + 4SO_4^{2-} + 4H^+$ (1)

Pirit + Oksigen + Air → Ion ferro + Sulfat + Keasaman

Reaksi berikutnya adalah oksidasi pirit oleh ion ferri. Reaksi ini berlangsung lebih cepat dua sampai tiga kali daripada oksidasi pirit oleh oksigen. Jumlah mol keasaman yang dihasilkan juga lebih banyak per mol pirit. Akan tetapi, reaksi ini hanya terjadi jika ion ferri tersedia dalam jumlah yang cukup atau pada kondisi asam.

$FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+$ (2)

Pirit + Ion ferri + Air → Ion ferro + Sulfat + Keasaman

Reaksi oksidasi pirit dimulai pada reaksi (1) dalam kondisi dekat netral dan akan berlanjut ke reaksi (2) jika kondisi semakin asam dimana nilai pH lebih kecil dari 4,5. Jika pH lebih kecil, Fe^{3+} akan lebih cepat mengoksidasi pirit. Oleh karena itu, reaksi (2) ini dikenal dengan pembatas laju oksidasi pirit.

Ion ferri dari reaksi (2) terbentuk dari hasil konversi ion ferro dari reaksi (1) yang akan mengkonsumsi satu mol keasaman seperti yang terlihat pada reaksi (3). Reaksi ini berjalan lambat pada pH <5 dan kondisi abiotik. Bakteri akan sangat berpengaruh pada reaksi ini. Bakteri tersebut adalah *Acidithiobacillus Ferrooxidans* yang dapat mempercepat laju oksidasi Fe^{2+} sampai 5 hingga 6 kali.

$4Fe^{2+} + O_2 + 4H^+ \rightarrow 4Fe^{3+} + 2H_2O$ (3)

Ion ferro + Oksigen + Keasaman → Ion ferri + Air

Dari reaksi (3) diketahui bahwa oksidasi ion ferro menjadi ferri diperlukan kehadiran oksigen. Oksidasi dan hidrolisa ion ferri akan membentuk ferri hidroksida seperti pada reaksi (4). Endapan ferri hidroksida yang terbentuk berwarna coklat kekuningan atau sering disebut *yellowboy* bergantung kepada pH, dimana lebih banyak terbentuk pada pH yang lebih besar dari 3,5.

$Fe^{2+}\ {}^{1}/_{4}O2 + {}^{5}/_{2}H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 2H^+$ (4)

Ion ferro + Oksigen + Air → Ferri hidroksida + Keasaman

Pada reaksi (4) merupakan reaksi pelarutan-pengendapan yang berlangsung pada pH sama dengan 3 dan merupakan sumber berkurangnya Fe^{3+} dan langkah penting untuk melepas asam ke lingkungan.

Jika reaksi (1) hingga (4) digabung, maka akan diperoleh reaksi oksidasi mineral pirit dengan reaksi umum seperti dibawah ini.

$$FeS_2 + {}^{15}/_{4}O_2 + {}^{7}/_{2}H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 2SO_4^{2-} + 4H^+ \quad (5)$$

Pirit + Oksigen + Air → Ferri Hidroksida + Sulfat + Keasaman
(*yellowboy)*

Oksidasi sulfida akan menghasilkan keasaman, sulfur, padatan terlarut dan logam. Sulfur yang terbentuk dalam air asam tambang sulfat. Dalam kondisi asam, sulfat terlarut dapat mencapai 10.000 mg/l dan bahkan lebih pada kondisi yang lebih asam.

2.3 Dampak Air Asam Tambang Terhadap Lingkungan

2.3.1 Sumber Daya Air

Air asam tambang merupakan sumber polusi paling besar karena nilai keasaman yang tinggi dapat mengakibatkan makhluk hidup tidak bisa bertahan hidup. Selain tingkat keasamannya yang sangat tinggi, air asam tambang memiliki padatan terlarut (*total dissolved solids*) dan sulfat dari oksidasi mineral, logam-logam dan komponen mineral terlarut lainnya (PIRAMID Consortium, 2003; Zipper et al., 2009 dalam Munawar, 2017).

Dengan adanya air asam tambang dan tingkat keasaman yang tinggi, mengakibatkan korosi pada pipa dan bangunan, merusak dinding dan membunuh tumbuhan dan organisme akuatik lainnya jika air yang telah tercemar air asam tambang tersebut mengalir ke badan air (Gaikward dan Gupta, 2008 dalam Munawar, 2017). I

2.3.2 Sumberdaya Tanah

Rehabilitasi lahan bekas pada daerah tambang masih banyak mengandung dan bercampur dengan bahan yang berpotensi membentuk asam (*potentially acid forming*). Akibatnya, air asam tambang akan tetap terbentuk didalam tanah sehingga menyebabkan meningkatnya keasaman didalam tanah. Tanah dengan kondisi asam akan melarutkan dan membebaskan logam-logam seperti Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Cd, Ni dan Hg. Akibatnya, tanah menjadi kurang baik untuk

pertumbuhan tanaman dan organisme tanah penting lainnya. (Environment Australia, 1997; Jenning et al., 2008 dalam Munawar, 2017).

Air asam tambang yang terbentuk juga dapat mengalir bersama dengan aliran permukaan (*run-off*), air rembesan (*seepage*) dan air lindian (*leacheate*). Air tersebut dapat mencemari tanah dan sumber-sumber air permukaan, seperi sungai dan danau disekitar lokasi tambang, bahkan air tanah disekitar daerah tambang.

2.4 Pencegahan Pembentukan Air Asam Tambang

Pencegahan pembentukan air asam dapat dilakukan dengan pendekatan preventif yaitu dengan cara mencegah, mengurangi dan menghambat pembentukan asam melalui pengelolaan material yang berpotensi membentuk asam.

Salah satu pendekatan preventif yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya pembentukan air asam tambang yaitu dengan cara pencampuran dan penempatan bahan yang bersifat alkalin. Terdapat dua cara pencampuran bahan yang bersifat alkalin untuk mencegah pembentukan air asam tambang, yaitu dengan cara mencampur bahan alkalin dan penghasil asam bersama-sama dengan perlatan pada saat pengambilan dan penempatan batuan penutup dan dapat dilakukan dengan menempatkan satu lapisan alkalin diatas satu lapisan material penghasil asam, sehingga pembentukan air asam tidak terjadi. (Munawar, 2017)

Pencegahan pembentukan air asam tambang juga dapat dilakukan dengan isolasi material penghasil asam jauh dari lubang *backfill* sehingga kontak antara material penghasil asam dengan oksigen dan udara berkurang. Isolasi dapat dilakukan dengan menempatkan bahan alkalin diatas, dibawah, dan disekeliling bahan penghasil asam. (Munawar, 2017)

Metode pencegahan yang umum dilakukan adalah dengan *encapsulation* yang terdiri dari 2 metode yaitu *dry cover* dan *wet cover*.

1. *Dry* cover, dilakukan dengan membuat lapisan kedap untuk menutup batuan yang berpotensi membentuk asam sehingga infiltrasi air dan oksigen berkurang.

2. *Wet cover*, dilakukan dengan menempatkan batuan yang berpotensi membentuk asam didalam air sampai kedalaman tertentu dari muka air sehingga tidak terdapat lagi sirkulasi oksigen yang merupakan penyebab pembentuk asam. (Lestari, 2010)

Bahan-bahan alkalin yang dapat digunakan untuk mencegah pembentukan air asam tambang antara lain adalah batu kapur, dolomit, oksida kalsium dan magnesium, sisa-sisa pembakaran batubara (*fly ash* dan *bottom ash*) dan batuan fosfat (Munawar, 2017).

2.5 Pengelolaan Batuan Sisa Dengan *Dry Cover*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pencegahan pembentukan AAT dapat dilakukan dengan mengisolasi material penghasil asam (PAF) dari air dan oksigen. Untuk mengisolasi PAF dapat dilakukan dengan metode *layering* dan *blending* antara material PAF dan NAF. Ukuran butiran PAF bersifat lebih kasar dibandingkan material NAF. Perbedaan ukuran butiran berguna untuk melihat proses pelapukan dari material yang digunakan dimana ini akan mempengaruhi reaksi oksidasi pirit. Pelapukan material akan terkait dengan kapasitas ruang antar pori dalam meloloskan air. Ruang antar pori yang sudah terisi dengan butiran yang lebih kecil dan halus akan berfungsi sebagai penghalang untuk masuknya air dan oksigen sehingga dapat mengurangi reaksi oksidasi dari pirit (Puspitasari, 2014).

2.5.1 Sistem *Layering*

Berdasarkan MEND, 1998a dan 2001; Miller et al., 2003 dan 2006 di *The International Network for Acid Prevention* (INAP), 2009 dalam Puspitasari (2014), *layering* dengan penempatan material PAF dan material penetral pada suatu sistem dirancang untuk mengontrol dan membatasi terbentuknya AAT. Efektivitas dari *layering* ditentukan oleh tersedianya material, keseimbangan material PAF dan penetralnya, jenis material PAF, sifat dan aliran air pada timbunan batuan. Pada metode *layering* material PAF diletakkan dibawah lapisan

material NAF. Ini akan mencegah reaksi oksidasi pirit yang terdapat pada material PAF.

2.5.2 Sistem *Blending*

Menurut INAP, 2009 dalam Puspitasari, 2014 *blending* adalah pencampuran antara jenis batuan PAF dengan NAF untuk membuat timbunan sehingga kualitas air yang dihasilkan memenuhi baku mutu. Efektifitas dari *blending* tergantung dari ketersediaan material, keseimbangan material PAF dan penetralnya, jenis material PAF, aliran yang terjadi pada timbunan dan tingkat pencampuran dari metode *blending* itu sendiri. Pencampuran secara merata perlu untuk mendapatkan hasil yang maksimal (MEND, 1998a dan 2001 dalam Puspitasari, 2014). Hal ini dianggap efektif dalam mengurangi oksidasi pirit karena ukuran butir yang lebih halus dari NAF akan mengisi ruang kosong dari butiran yang lebih kasar.

2.6 Penggunaan Bahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Sebagai Penutup

Fly ash dan *bottom ash* merupakan residu yang dihasilkan dari pembakaran batubara yang terdiri dari partikel-partikel halus dan berpotensi mempunyai kemampuan penetralan (Taylor, 2005). Material *fly ash* dan *bottom ash* terdiri dari senyawa silicate glass yang mengandung silica (Si), alumina (Al), ferrum (Fe) dan kalsium (Ca). Selain terdiri dari senyawa-senyawa silicate glass untuk menetralkan asam, sebagian besar abu *fly ash* dan *bottom ash* bersifat alkalin dengan pH berkisar antara 8-12.

Material *bottom ash* memiliki bentuk angular dan berwarna abu kehitaman dengan tekstur permukaan berpori. Ukuran dari *bottom ash* bervariasi mulai dari cukup kasar hingga halus. Umumnya, ukuran *bottom ash* seperti pasir dengan 50-90% lolos ayakan 4,75 mm, 10-60% lolos ayakan 0,42 mm, 0-10% lolos ayakan 0,075 mm.

Untuk material *fly ash* butirannya terdiri dari partikel halus seperti bedak, kadar karbon yang lebih rendah dari *bottom ash* dengan ukuran abu yang relatif kecil dengan bentuk partikel bulat. Ukuran *fly ash* kurang dari 0,075 mm. (ASTM C204, 1994, dalam Lestari, 2010).

Menurut Said dkk, 2019, *fly ash* menunjukkan potensi penetralan dengan pH sebesar 9,92 dengan total sulfur yang rendah yaitu 0,37% yang mengindikasikan sumber keasaman yang cukup rendah sehingga *fly ash* dikategorikan sebagai NAF (Non-Acid Forming) atau tidak berpotensi menimbulkan air asam tambang.

2.7 Analisa Mineralogi Batuan

Analisa mineralogi batuan berfungsi untuk mengetahui mineral dan unsur yang terkandung didalam sampel. Teknik yang dapat digunakan untuk analisa ini yaitu dengan menggunakan sinar X. Metode yang dapat digunakan adalah *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

2.7.1 X-Ray Fluorescence

Uji XRF dilakukan untuk mengetahui hasil kuantitas unsur-unsur dan senyawa dalam sampel batuan. Menurut Brouwer dalam Nugraha (2020) prinsip dari XRF yaitu mengganggu atom dengan sumber energi eksternal sehingga terjadi emisi dari foto sinar-X yang dihasilkan dari unsur-unsur yang terdapat dalam sampel. Dengan mengukur energi radiasi tersebut maka unsur yang terdapat dalam sampel dapat diketahi. Analisis kuantitatif dengan XRF juga dapat dilakukan dengan mengukur intensitas energy yang dihasilkan untuk mengetahui jumlah unsur yang berada dalam sampel.

2.7.2 X-Ray Diffraction

Uji XRD dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jenis-jenis mineral yang terkandung dalam batuan sehingga dapat diidentifikasi apakah mineral tersebut menghasilkan asam atau tidak menghasilkan asam, atau dapat menetralkan asam. Uji ini memanfaatkan sifat kristal yang memberikan difraksi ketika ditembakkan dengan sinar X. Umumnya difraksi ini memberikan pola yang kemudian digunakan untuk mengetahui mineralogi sampel (Nugraha, 2020).

2.8 Prediksi Potensi Pembentukan Air Asam Tambang.

2.8.1 Uji Statik

Uji statik merupakan pengujian untuk menentukan komponen pembentuk asam yaitu mineral sulfida dan komponen pengkonsumsi asam yaitu karbonat didalam

batuan. Tujuan dari uji ini yaitu untuk mengetahui potensi pembentukan asam yang dihasilkan dari batuan (Gautama, 2019).

Prinsip pengujian sampel dalam uji statik adalah:

1. Sumber pembentuk asam yaitu mineral sulfida.
2. Jumlah asam yang terbentuk didekati dari kandungan sulfur dalm batuan.
3. Dalam batuan sisa, bisa terdapat mineral yang memiliki potensi menetralkan asam.
4. Pengujian dilakukan dengan menghitung total asam yang dihasilkan dari berbagai komponen dalam batuan begitu juga dengan total penetral yang terdapat dalam batuan (Gautama, 2019).

Dalam uji statik, terdapat beberapa pengujian untuk menentukan potensi pembentukan asam dan kapasitas penetralannya. Diantaranya adalah:

1. Total Sulfur

   Dalam pengujian total sulfur semua kandungan sulfur dalam sampel akan dihitung ketersediaannya. Kandungan sulfur sangat berpengaruh terhadap pembentukan dan kemampuan untuk menghasilkan asam dari suatu batuan. Nilai ini dapat diperoleh dengan pengujian *X-Ray Fluoresence* (Nugraha, 2020).
2. pH Pasta

   Uji pH pasta dilakukan untuk mengetahui keasaman yang dilakukan dengan pencampuran sampel dengan air destilat. Hasil pencampuran ini kemudian didiamkan 12-16 jam kemudian diperiksa nilai pH yang dihasilkan. Perbandingan antara batuan dan air destilat yang digunakan adalah 1:2 (Nugraha, 2020).
3. *Acid-Base Accounting* (ABA) *Test*

   Pengujian ABA merupakan perhitungan untuk mengetahui keseimbangan antara pembentukan asam dan penetralan asam. Hasil dari ABA *test* digunakan untuk mengklasifikasikan sampel berdasar potensi pembentukan asamnya. Nilai yang didapatkan terdiri dari *Maximum*

Potential Acidity (MPA), *Acid Neutralizing Capacity* (ANC) dan *Net Acid Producing Potential* (NAPP) (Nugraha, 2020).

- *Maximum Potential Acidity* (MPA) merupakan nilai yang menunjukkan keasaman maksimum yang dapat dihasilkan. Nilai keasaman tersebut diasumsikan berasal dari semua sulfur yang terkandung dalam batuan yang dapat menghasilkan asam. MPA dihitung dengan konversi dari persen total sulfur (TS) menjadi kilogram asam sulfat (H_2SO_4) perton batuan.

  MPA (kg H_2SO_4/ton) = TS (%) x 30,6
- *Acid Neutralizing* Capacity (ANC) atau Kapasitas Penetralan Asam (KPA) menggambarkan kapasitas penetral kandungan karbonat suatu sampel untuk menetralisir asam. Nilai ANC didapatkan dengan mereaksikan sejumlah batuan dengan larutan asam standar HCl, kemudian dititrasi balik dengan larutan NaOH. Jumlah asam dari batuan memiliki nilai yang sama dengan NaOH yang didapatkan selama titrat. Pengujian ANC dilakukan mengacu kepada standar pengujian SNI 13-7170-2006 dan hasil yang didapatkan dinyatakan dalam satuan jumlah kg H_2SO_4 per ton batuan dengan persamaan berikut:

$$ANC\left(\frac{Kg(H2SO4)}{ton}\right) = \frac{V(L) \times M\left(\frac{mol}{L}\right) \times 0.098 \times \left(\frac{kg(H2SO4)}{mol}\right)}{W\ (gram) \times 10^{-6}\left(\frac{ton}{gram}\right)}$$

- Nilai *Net Acid Production* Potential (NAPP) atau Potensi Pembentukan Asam Bersih (PPAB) adalah hasil perhitungan asam-basa (ABA) yang berupa selisih antara MPA dengan ANC. Nilai ini mewakili keseimbangan kapasitas sampel untuk menghasilkan asam dengan kapasitas sampel untuk menetralkan asam. Nilai NAPP dinyatakan dalam satuan kg H_2SO_4 per ton batuan.

  NAPP = MPA - ANC

Sampel yang berpotensi asam akan ditandai dengan nilai NAPP yang positif (NAPP > 0), sedangkan sampel yang tidak berpotensi menghasilkan keasaman ditandai dengan nilai NAPP yang negatif (NAPP < 0) (Nugraha, 2020).

4. *Net Acid Generation* (NAG) Test

Net Acid Generation (NAG) *Test* atau Pembentukan Asam Neto (PAN) adalah uji yang dilakukan untuk mengevaluasi kenaikan asam sulfur pada sulfida. Uji ini didasari dengan *oxidizing agent (*hidrogen peroksida) yang kuat menyebabkan reaksi oksidasi sulfida menjadi lebih cepat. Dalam uji NAG, reaksi yang terjadi antara pembentukan asam dan penetralan asam terjadi dengan bersamaan. Dengan demikian, hasil yang didapatkan merupakan sisa asam yang masih terdapat dalam sampel. Pengujian NAG dilakukan dengan standar pengujian SNI 13-6599-2001.

Dalam penelitian ini, NAG test yang digunakan yaitu *single addition* NAG *Test*. Hidrogen peroksida ditambahkan pada sampel, kemudian diukur keasamannya (pH) terhadap larutan yang telah didiamkan selama 24 jam. Sampel dengan pH NAG akhir lebih besar atau sama dengan 4,5 dikategorikan sebagai NAF, sedangkan pH NAG di bawah 4,5 dikategorikan sebagai PAF.

2.8.2 Uji Kinetik

Menurut Gautama, 2019 uji kinetik bertujuan untuk mengetahui reaksi pembentukan asam dari sampel melalui reaksi oksidasi pada batuan. Dari uji ini diprediksi karakteristik pelapukan jangka panjang. Informasi yang diperoleh dari uji kinetik adalah:

1. Memberikan konfirmasi dalam potensi pembentukan AAT.
2. Mengetahui laju oksidasi sulfur serta perubahan asam.
3. Mengetahui berkurangnya potensi penetralan.
4. Memperkirakan tingkat pelindian logam.

Beberapa metode uji kinetik yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Humidity Cells*

Humidity cells merupakan salah satu uji kinetic yang dilakukan dengan membuat simulasi pelapukan batuan. Tujuannya yaitu untuk mengetahui air yang dihasilkan bersifat asam, basa atau netral (Sayoga, 2019).

Dua ratus hingga tiga ratus gram sampel digerus (2 mm) dan ditempatkan dalam tabung uji. Udara kering dimasukkan ke sampel selama 3 hari kemudian 3 hari dengan udara lembab dihari berikutnya. Setiap 7 hari, sampel kemudian disiram dengan volume air tertentu. Proses ini diulangi selama 10-20 minggu (Sobek et al., 1978 dalam Lestari, 2010).

2. *Free Draining Column Leach*

   Column leach test dilakukan untuk memberikan informasi tentang reaktivitas sulfida, laju pelapukan, pelarutan logam serta karakteristik air lindian. Sampel batuan yang digunakan berukuran >4 mm agar permukaan terekspose dengan maksimal. Sampel dirancang untuk siklus basah-kering. Siklus basah dilakukan dengan menyiramkan air aquades ke permukaan sampel batuan yang kemudian air lindian yang dihasilkan dikumpulkan pada wadah penampungan (Gautama, 2019).

2.9 Kualitas Air Lindian Hasil Uji Kinetik

2.9.1 pH

Parameter pH merupakan parameter yang menyatakan keasaman dimana menunjukkan banyaknya ion H^+ dalam air lindian. Semakin banyak ion H^+ maka semakin rendah nilai pH dan air akan bersifat asam (Irsyad, 2007 dalam Lestari, 2010). pH normal secara umum memiliki nilai 7 dan bila nilai pH >7 menunjukkan bahwa material tersebut memiliki sifat basa. Pada pH <7 material menunjukkan keasaman. Nilai pH 0 merupakan nilai keasaman yang tinggi sedangkan pH 14 menunjukkan kebasaan yang tinggi (Tri Joko, 2010).

Umumnya, keasaman pada AAT berasal dari pH rendah dan dari keasaman mineral Fe, Mn dan Al yang terlarut. Logam-logam ini merupakan logam yang dianggap asam karena mampu menghasilkan H^+ ketika terhidrolisis.

$$Fe^{2+} + 1/4O_2 + 3/2H_2O \rightarrow FeOOH + 2H^+ \quad (6)$$

$$Fe^{3+} + 2H_2O \rightarrow FeOOH + 3H^+ \quad (7)$$

$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$ (8)

$Mn^{2+} + 1/4O_2 + 3/2\ H_2O \rightarrow MnOOH + 2H^+$ (9)

(Gautama, 2019)

2.9.2 *Total Dissolved Solid*

Total padatan terlarut adalah bahan yang terlarut (diameter $<10^{-6}$) dan koloid (diameter $10^{-6} – 10^{-3}$) berupa senyawa kimia atau bahan lain yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μm (Rao, 1992 dalam Effendi, 2003). Contoh padatan terlarut adalah zat kapur, besi, timah, magnesium, tembaga, sodium, klorida, klorin dan lain-lain. Keasaman merupakan faktor penting dalam terlarutnya logam-logam dari batuan sisa. Logam-logam akan larut sampai batas minimum logam tersebut mengalami pengendapan. Ukuran partikel sangat menentukan kelarutan. Semakin halus butiran maka semakin luas permukaannya dan semakin mudah pelarutannya (Ismail & Hanudin, 2005 dalam Puspitasari, 2014).

Nilai kelarutan minimum dari masing-masing logam batuan sisa dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Kelarutan Logam Dengan Kaitannya Terhadap pH

Metal	***pH Corresponding to Minimum Metal Hydroxide Solubility/L***
Ion Ferri Fe^{3+}	~3.5
Antimon, Sb^{2+}	~4.2
Alumunium, Al^{3+}	~4.5
Timbal, Pb^{2+}	~6.5
Tembaga, Cu^{2+}	~7
Ion Ferri, Fe^{2+}	~8
Zink, Zn^{2+}	~8.5
Nikel, Ni^{2+}	~9.3
Kadmium, Cd^{2+}	~10
Mangan, Mn^{2+}	~10.6

Sumber : GARD Guide dalam Puspitasari, 2014

2.9.3 Daya Hantar Listrik

Daya hantar listrik adalah gambaran dari kemampuan air untuk dapat menghantarkan arus listrik. Semakin banyak ion dan logam yang dapat terionisasi, semakin tinggi niali DHL yang dihasilkan. Konsentrasi ion-ion terlarut merupakan faktor penting terhadap nilai DHL (APHA, 1976; Mackereth et al, 1989 dalam Effendi, 2003).

Daya hantar listrik sangat bergantung kepada jenis dan konsentrasi ion didalam larutan. Pergerakan suatu ion dalam larutan sangat berhubungan dengan nilai DHL dimana ion yang mudah bergerak memiliki daya hantar listrik yang besar. Dengan diketahuinya nilai DHL, secara garis besar akan diketahui jumlah mineralnya. Semakin tinggi nilai DHL maka menandakan semakin besar mineralnya dan sebaliknya semakin rendah nilai DHL menandakan semakin rendah mineralnya.

2.10 Faktor Yang Mempengaruhi Laju Oksidasi Sulfida

Dalam reaksi oksidasi sulfida, terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi lajunya oksidasi sulfida. Hal-hal yang mempengaruhi laju oksidasi sulfida tersebut adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir, porositas dan luas permukaan.

   Semakin kecil ukuran butir akan meningkatkan total luas permukaan reaktif. *Crushing* pirit akan meningkatkan total luas permukaan reaktif dan memperbesar kemungkinan terjadinya oksidasi.

2. Suhu dari batuan.

   Oksidasi pirit bersifat eksotermis. Suhu yang meningkat akan memicu pertumbuhan bakteri termofilik. Bakteri ini menggunakan energi untuk proses metabolismenya. Dalam timbunan, energy yang terperangkap akan membuat pirit semakin panas sehingga laju oksidasi meningkat.

3. Konsentrasi oksigen didalam fasa gas dan cair.

   Oksidasi pirit dapat terjadi diatmosfer dan air. Oksidasi akan meningkat ketika oksigen meningkat. Jika oksidasi terjadi dalam kondisi jenuh,

reaktivitas pirit dipengaruhi oleh konsentrasi dan transport oksigen dalam air.

4. Konsentrasi CO_2 didalam fasa gas dan cair.

   CO_2 digunakan bakteri pengoksidasi sulfur dan besi sebagai sumber karbon untuk membangun material organik untuk tumbuhnya. Dalam timbunan sulfida, CO_2 dihasilkan dari terlarutnya karbonat yang melepaskan CO_2 didalam ruang pori. Peningkatan konsentrasi CO_2 ini menyebabkan tumbuhnya bakteri pengoksidasi sulfur dan besi, akibatnya oksidasi pirit meningkat.

5. Nilai pH larutan.

   Nilai pH yang kontak dengan pirit akan mempengaruhi laju oksidasi. Pada kondisi pH netral, Fe^{3+} bertindak sebagai pengoksidasi pirit, sementara konsentrasi Fe^{3+} bergantung pada pH. Pada pH diatas 3, Fe^{3+} akan terendapkan sehingga agen pengoksidasi tidak ada dilarutan. Oksidasi sulfida semakin cepat pada pH dibawah 3.

6. Ketersediaan air.

   Air merupakan media transport AAT yang penting. Kondisi basah-kering akan mempercepat oksidasi sulfida. Hasil oksidasi akan terlarutkan pada kondisi basah dan meninggalkan kondisi pirit yang segar untuk oksidasi berikutnya (Gautama, 2019).

itenas library