

**PENGARUH PERLAKUAN BIOCHAR DARI SEKAM PADI DAN SEDIMEN BAKAU
TERHADAP PENURUNAN LOGAM BERAT BESI (Fe) DAN SULFAT PADA AIR ASAM
TAMBANG**

**THE EFFECT OF TREATMENT FROM RICE HUSK BIOCHAR AND MANGROVE
SEDIMENT ON REDUCING HEAVY METALS IRON (Fe) AND SULFATE IN ACID MINE
DRAINAGE**

Aurelia Salsabila, Fahrudin, Eva Johannes

Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
Corresponding author: aureliasl8@gmail.com

Abstrak

Air asam tambang (AAT) merupakan limbah pencemar lingkungan yang terjadi akibat aktivitas pertambangan. AAT dapat ditanggulangi dengan menggunakan biochar dari sekam padi dan sedimen bakau. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan biochar dari sekam padi dan sedimen bakau pada penurunan logam berat Fe, kadar sulfat, peningkatan pH dan jumlah populasi mikroba. Penurunan kadar logam berat Fe diukur menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom, penurunan kadar sulfat diukur menggunakan Spektrofotometer uv Vis, peningkatan pH diukur menggunakan pH meter, dan total mikroorganisme dihitung dengan metode SPC (*Standar plate count*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan biochar sekam padi dan sedimen bakau pada AAT yang lebih baik dalam mereduksi logam berat Fe adalah P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) yaitu 0,39 ppm dibandingkan P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) hanya mampu mereduksi logam berat Fe sebesar 0,71 ppm. Perlakuan biochar sekam padi dan sedimen bakau pada AAT yang lebih baik dalam mereduksi sulfat adalah P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) yaitu 65,8 ppm, dibandingkan P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) yang hanya mampu mereduksi sulfat sebesar 127 ppm. Adapun dalam peningkatan pH, perlakuan biochar sekam padi dan sedimen bakau pada AAT menunjukkan hasil yang paling baik pada P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) yaitu 6,6, dibandingkan P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) yang hanya mampu meningkatkan pH AAT sebesar 4,05. Perlakuan biochar sekam padi dan sedimen bakau juga mampu meningkatkan jumlah populasi mikroba paling baik pada perlakuan P1(AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) yaitu $2,5 \times 10^{16}$ CFU/mL, dibanding P4 (AAT 1250mL) yang hanya mampu meningkatkan jumlah populasi mikroba sebesar $1,0 \times 10^4$ CFU/mL.

Kata Kunci: Air Asam Tambang, Biochar Sekam Padi, Sedimen bakau, Bakteri pereduksi Sulfat.

Abstract

Acid mine drainage (AMD) is an environmental pollutant waste that occurs as a result of mining activities. AMD can be overcome by using biochar from rice husks and mangrove sediments. This study aims to determine the effect of biochar treatment from rice husks and mangrove sediments on reducing heavy metal Fe, sulfate levels, increasing pH and microbial population numbers. Decreasing levels of heavy metal Fe was measured by using an Atomic Absorption Spectrophotometer, decreasing levels of sulfate was measured using a UV Vis Spectrophotometer, increasing pH was measured by using a pH meter, and total microorganisms were calculated using the SPC (Standard plate count) method. The results show that the best AMD treatment of rice husk biochar and mangrove sediment in reducing heavy metal Fe is P1 (1250 mL AMD + 20% mangrove sediment + 15% biochar), is 0.39 ppm compared to P3 (1250 mL AMD + biochar 15%) is only able to reduce the heavy metal Fe by 0.71 ppm. The treatment of rice husk biochar and mangrove sediments in AMD which was the best in reducing sulfate was P1 (1250 mL AMD + 20% mangrove sediment + 15% biochar) is 65.8 ppm, compared to P3 (1250 mL AMD + 15% biochar) which only able to reduce sulfate by 127 ppm. As for increasing pH, treatment of rice husk biochar and mangrove sediments on AMD showed the best results on P1 (1250 mL AAT + 20% mangrove sediment + 15% biochar) is 6.6, compared to P3 (1250 mL AMD + 15% biochar) which was only able to increase the pH of AMD by 4.05. Treatment of rice husk biochar and mangrove sediments is also able to increase the number of microbial populations best in treatment P1 (1250 mL AMD + 20% mangrove sediment + 15% biochar) is 2.5×10^{16} CFU/mL, compared to P4 (1250mL AMD) only able to increase the number of microbial population by 1.0×10^4 CFU/mL.

Key word: Acid Mine Drainage, Biochar of Rice Husk, Mangrove Sediment, Sulphate Reduction Bacteria

Pendahuluan

Kegiatan pertambangan merupakan kegiatan jangka panjang yang karakteristiknya adalah membuka lahan dan mengubah bentang alam sehingga berpotensi memberikan dampak terhadap lingkungan. Salah satu dampak yang ditimbulkan adalah terbentuknya air asam tambang, yaitu air yang bersifat asam, mengandung logam berat dan sulfat sebagai hasil reaksi dari mineral sulfida, khususnya pirit dengan oksigen serta air. Salah satu logam berat yang berbahaya adalah besi (Fe). Besarnya konsentrasi air asam tambang yang melebihi baku mutu lingkungan menyebabkan dampak yang sangat serius bagi manusia dan lingkungan sekitar sehingga perlu untuk dilakukan penanggulangan. Salah satu metode untuk meremediasi air asam tambang dapat dilakukan secara biologis dengan memanfaatkan bakteri pereduksi sulfat yang dapat diperoleh dari sedimen bakau yang merupakan habitat alaminya. Optimalisasi kinerja bakteri pereduksi sulfat dalam meremediasi limbah air asam tambang dapat ditingkatkan dengan pemanfaatan *biochar*. *Biochar* dapat menahan logam-logam berat yang terlarut serta dapat menyediakan habitat yang cocok bagi mikroorganisme. Adanya bakteri pereduksi sulfat serta penambahan *biochar* diharapkan dapat bekerja secara optimal dalam menurunkan kadar logam berat Fe dan sulfat serta meningkatkan pH pada limbah air asam tambang.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

a. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas seperti cawan petri, erlenmeyer, gelas ukur, gelas kimia, tabung reaksi, bunsen, spoit, *hotplate*, botol sampel, wadah perlakuan berupa *box* plastik bening, pH meter, *mesh*, inkubator, *magnetic stirrer*, timbangan digital, oven, autoklaf, enkas, pipet ukur, corong, tanur, *scrubber* dan spektrofotometri serapan atom (SSA).

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel Air Asam Tambang yang dibuat secara sintetik, sampel sedimen bakau yang diperoleh dari Taman Wisata Mangrove Lantebung, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar, arang sekam padi yang diperoleh dari toko pertanian di Kota Makassar, media pertumbuhan bakteri berupa media *Nutrient Agar* (NA) dengan komposisi yaitu 5 gr pepton, 3 gr ekstrak daging, 15 gr agar dan sodium klorida 5 gr, bahan-bahan tambahan lain seperti *cling wrap*, *aluminium foil*, kapas, kertas *Whatman*, dan larutan kimia.

Prosedur Penelitian

a. Sterilisasi Alat

Alat-alat yang akan digunakan disterilkan terlebih dahulu, alat-alat gelas disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Cawan petri disterilkan menggunakan oven dengan suhu 180°C selama 2 jam. Sedangkan alat-alat plastik yang tidak tahan panas dibilas dengan menggunakan akuades.

b. Pengambilan Sampel

Sedimen bakau diperoleh dari Taman Wisata mangrove Lantebung, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar pada celupan 10 cm. Sedimen kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel, lalu disimpan dalam lemari pendingin pada suhu 2°C. Arang sekam padi yang

diaktivasi. Serta air tanah yang kemudian dimasukkan ke dalam wadah dan selanjutnya dibuat air asam tambang sintetik.

c. Pembuatan Air Asam Tambang (AAT)

Air asam tambang dibuat secara sintetik dengan menambahkan senyawa asam sulfat (H_2SO_4) hingga mencapai pH 2, kemudian ditambahkan dengan $Fe(SO_4)$ 1 ppm dalam jumlah konsentrasi AAT, lalu dimasukkan ke dalam wadah berisi air tanah sebanyak 10 L (Suyasa, 2002).

d. Aktivasi Arang Sekam Padi

Arang sekam padi dihaluskan kemudian diayak menggunakan *mesh*. Selanjutnya dilakukan pengaktifan dengan larutan HCl sebanyak 50 ml/ 1 liter akuades kemudian didiamkan selama 1x24 jam pada suhu ruang dan dibilas kembali menggunakan akuades. Dilanjutkan dengan aktivasi menggunakan larutan KOH sebanyak 80 ml/ 1 liter akuades lalu didiamkan selama 1x24 jam dengan suhu ruang. Kemudian dilakukan pencucian menggunakan akuades hingga netral, lalu arang aktif yang telah direndam dikeringkan. Setelah kering, biochar siap digunakan.

e. Pembuatan Perlakuan

Dibuat empat perlakuan sebagai berikut:

P1 = AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% (250 gr) + biochar 15% (187 gr)

P2 = AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% (250 gr)

P3 = AAT 1250 mL + biochar 15% (187 gr)

P4 = AAT 1250 mL sebagai kontrol

Disiapkan wadah perlakuan, untuk perlakuan P1, P2, dan P3 masing-masing mendapat pengulangan sebanyak dua kali. Masing-masing perlakuan biochar ditimbang sebanyak 187 gr kemudian dimasukkan ke dalam wadah P1 dan P3. Setelah itu ditambahkan 250 gr sedimen sawah ke dalam wadah P1 dan P2. Selanjutnya masing-masing wadah perlakuan dimasukkan air asam tambang sebanyak 1250 mL secara perlahan. Pengamatan kandungan sulfat, pH dan total mikroorganisme dilakukan pada hari ke-0, ke-5, ke-10, ke-15, ke-20, hingga hari ke-25, sedangkan pengamatan kandungan logam berat dilakukan pada hari ke-0, ke-15 hingga hari ke-30.

Parameter yang diamati selama masa inkubasi adalah sebagai berikut:

- Pengujian kandungan logam berat dengan metode SSA
- Pengukuran kadar sulfat dengan metode gravimetri
- Pengamatan kenaikan pH dengan pH meter
- Total mikroorganisme dengan metode *Standar Plate Count* (SPC)

A. Pengukuran Kandungan Logam Berat Besi (Fe)

Pengukuran dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak 50ml dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Ditambahkan larutan HNO_3 pekat sebanyak 10 mL lalu dipanaskan menggunakan *hotplate* hingga mencapai volume akhir sampel sebanyak 20 mL. Kemudian ditambahkan kembali akuades hingga mencapai volume akhir sampel sebanyak 50ml. Setelah itu, larutan disaring dengan kertas saring *whatman* dan siap dianalisa kandungan logam beratnya.

B. Pengukuran Kadar Sulfat

Pengukuran kadar asam sulfat pada sampel air asam tambang dimulai dengan memasukkan sebanyak 50 mL sampel ke dalam erlenmeyer 250 mL kemudian ditambahkan 10 mL larutan buffer lalu dihomogenkan. Setelah itu, ditambahkan sebanyak 1 sendok kristal $BaCl_2$

lalu dihomogenkan selama 60 detik dengan kecepatan tetap hingga BaCl_2 larut sebagai suspensi BaSO_4 . Sampel kemudian dipindahkan ke dalam kuvet dan diukur serapannya pada panjang gelombang 420 menggunakan Spektrofotometer uv Vis.

C. Pengukuran pH

Dilakukan kalibrasi terlebih dahulu pada pH meter menggunakan larutan buffer pH 7 kemudian diaktifkan 15-30 menit hingga stabil. Lalu dibilas elektroda dengan akuades dan dikeringkan dengan kertas tisu. Selanjutnya, elektroda dicelupkan beberapa saat sehingga diperoleh pembacaan yang stabil kemudian hasil sampel pH tersebut dicatat.

D. Perhitungan Total Mikroba dengan Metode *Standard Plate Count* (SPC)

Tahap pertama yang dilakukan adalah pengenceran dengan memindahkan 1 mL sampel air asam tambang ke dalam tabung reaksi berisi 9 mL akuades kemudian dilakukan pengenceran secara bertingkat. Selanjutnya, dilakukan penanaman, inkubasi, serta perhitungan total mikroba. Diambil masing-masing 1 mL dari setiap perlakuan pada pengenceran 10^{-4} hingga 10^{-6} dan dimasukkan ke dalam cawan petri. Kemudian dituang media NA dan diratakan, selanjutnya media didiamkan hingga memadat kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C . Setelah 24 jam kemudian dihitung jumlah koloni mikroba yang tumbuh pada medium NA tersebut.

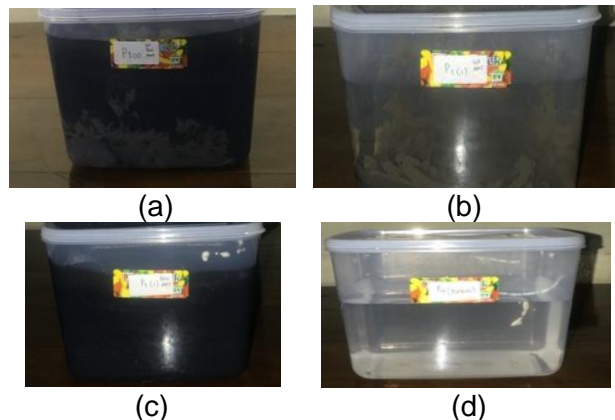
E. Analisis Data

Data yang diperoleh dalam hal ini pengukuran kadar sulfat, pengukuran kadar logam besi (Fe), perubahan pH, dan perhitungan total mikroorganisme ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik serta dibahas secara deskriptif.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan Fisik Air Asam Tambang

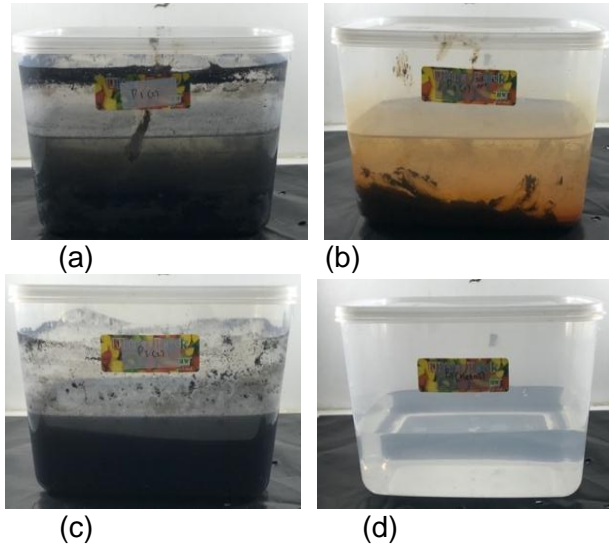
Sampel air asam tambang disimpan dalam wadah plastik dan dibuat empat perlakuan dengan menambahkan sedimen bakau dan biochar sekam padi seperti pada Gambar:



Gambar 1. Kondisi fisik air asam tambang hari ke-0 pada (a) P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%), (b) P2 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20%), (c) P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%), dan (d) P4 (AAT 1250 mL)

Pembuatan perlakuan bertujuan untuk membentuk mikrokosmos. Penggunaan sedimen bakau bertujuan sebagai sumber inokulum bagi bakteri pereduksi sulfat. Bakteri ini hidup secara

anaerob dan dapat ditemukan di daerah yang banyak mengandung bahan organik dengan suasana anaerob, termasuk sedimen bakau (Arnol 2017). Penggunaan biochar karena memiliki pori dan luas permukaan spesifik yang tinggi sehingga dapat menyerap logam berat yang dapat mengatasi pencemaran limbah air asam tambang. (Putri 2019). Biochar juga dapat menyediakan habitat yang cocok bagi mikroorganismenya. Setelah dibuat perlakuan, air sam tambang kemudian disimpan selama 30 hari dan diamati perubahan fisik yang terjadi seperti pada Gambar:

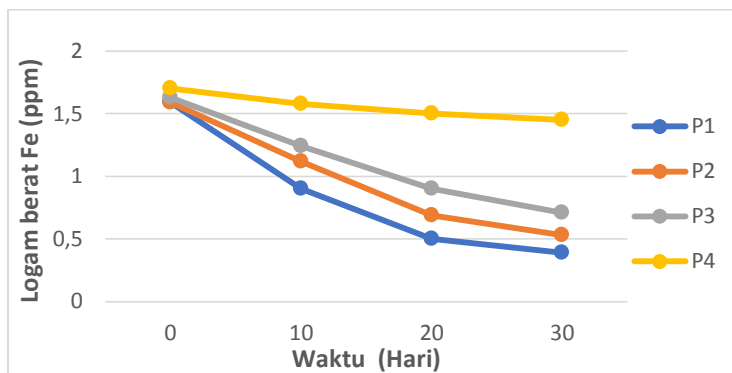


Gambar 2. Kondisi fisik AAT hari ke-30 pada (a) P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%), (b) P2 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20%), (c) P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%), dan (d) P4 (AAT 1250 mL)

Berdasarkan hasil pengamatan, terlihat bahwa pada hari ke-30, mikrokosmos yang telah diberi perlakuan berubah warna menjadi keemasan hingga hitam. Perubahan warna tersebut menandakan adanya aktivitas bakteri pereduksi sulfat. Menurut Puspitasari dkk (2014), perubahan warna menjadi kuning karat disebabkan teroksidasinya besi ferro oleh bakteri menjadi besi ferri. Perala dkk (2022) menjelaskan bahwa aktifitas bakteri pereduksi sulfat juga terbukti dengan adanya perubahan warna pada air asam tambang yang diberi substrat organik dimana terjadi ikatan antara besi ferro dengan gas hidrogen sulfida yang membentuk besi sulfida berwarna hitam dan tidak larut. Selain itu, Proses reduksi akan berlangsung baik jika tanah mengandung bahan organik tinggi. Bakteri pereduksi sulfat hidup secara anaerob dan dapat ditemukan hampir pada semua tanah dan air terutama yang banyak mengandung bahan organik dengan suasana anaerob, termasuk sedimen bakau (Arnol 2017).

VI.2 Pengukuran Kandungan Logam Berat Besi (Fe)

Pengukuran logam berat Fe dilakukan pada masing-masing perlakuan yang diinkubasi selama 30 hari dan diamati pada interval waktu 10 hari menggunakan SSA. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar:



Gambar 3. Kadar Fe pada P1 (AAT 1250mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) P2 (AAT 1250mL + sedimen bakau 20%) P3 (AAT 1200mL + biochar 15%) P4 (AAT 1250mL)

Dari data yang diperoleh, pada P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) hasil pengukuran logam berat Fe pada hari pertama inkubasi adalah 1,59 ppm yang secara bertahap mengalami penurunan hingga akhir inkubasi dengan kandungan logam berat Fe adalah 0,39 ppm. Pada P2 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20%) hasil pengukuran kandungan logam berat Fe pada hari pertama inkubasi adalah 1,59 ppm yang secara bertahap mengalami penurunan hingga pada akhir dengan kandungan logam berat yaitu 0,53 ppm. Adapun pada P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) pada hari pertama inkubasi adalah 1,63 ppm hingga akhir inkubasi menjadi 0,71ppm. Sementara untuk P4 (AAT 1250 mL) yang merupakan kontrol tidak mengalami penurunan logam berat secara signifikan yaitu dengan kandungan logam berat pada hari pertama inkubasi adalah 1,7 ppm dan pada hari terakhir inkubasi adalah 1,45 ppm.

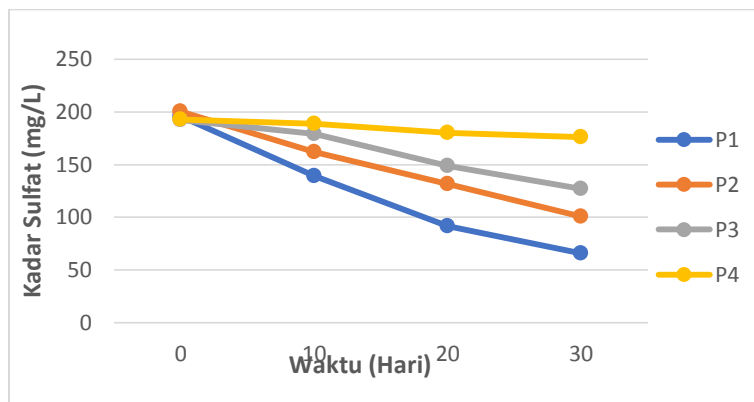
Adanya penurunan kandungan Fe pada P1,P2 dan P3 menunjukkan bahwa bakteri mampu mereduksi Fe yang ada pada AAT. Asam sulfida bereaksi dengan ion logam terlarut membentuk sulfida logam yang tidak larut sehingga konsentrasi logam terlarut dalam AAT dapat menurun. Pembentukan sulfida yang didukung oleh proses biologis bakteri pereduksi sulfat dapat mengendapkan ion toksik seperti Fe. Hal ini didukung oleh Sutanto dkk (2021) bahwa dalam melakukan proses reduksi sulfat, bakteri membutuhkan sumber energi yang diperoleh dari sulfat sebagai akseptor elektron dan bahan organik sebagai sumber karbon yang memiliki peran sebagai donor elektron dalam metabolisme serta bahan penyusun sel.

Biochar sekam padi juga memiliki peran dalam penurunan logam berat Fe, Hidayat (2019) menjelaskan bahwa biochar dengan permukaan yang luas dan mengandung banyak pori dapat menyerap logam-logam berat. Mekanisme penyerapannya terjadi melalui proses pertukaran ion, adsorpsi fisika, interaksi elektrostatis, dan presipitasi. Logam Fe^{2+} dan ion lainnya yang ada pada biochar seperti Ca^{2+} , K^+ , dan Na^{2+} keluar dari larutan dan terjadi pertukaran ion dengan materi kompleks organik dan oksida-oksida mineral dari biochar. Selanjutnya terjadi pertukaran antara permukaan logam berat fe dengan gugus-gugus karboksil (C-OH) dan kelompok gugus fenolik (C-H) yang merupakan kelompok gugus utama dan memiliki peran dalam kompleksasi permukaan dan pertukaran ion logam berat. Dan terakhir terjadi penyerapan fisik dan presipitasi permukaan yang berperan dalam stabilisasi logam berat (Ambaye et al, 2021) (Qiu et al, 2022).

Hasil menunjukkan bahwa P1 lebih baik dalam menurunkan kandungan logam berat Fe. Penurunan logam berat ini sejalan dengan peningkatan sulfat, nilai pH dan jumlah total mikroba. Sedangkan perlakuan yang kurang baik dalam mereduksi logam berat Fe adalah pada P4 yang merupakan kontrol dimana tidak adanya penambahan sehingga bakteri pereduksi sulfat tidak memperoleh sumber karbon untuk melakukan proses metabolismenya.

Pengukuran Kadar Sulfat

Pengukuran kadar sulfat dilakukan pada masing-masing perlakuan yang diinkubasi selama 30 hari dan diamati pada interval waktu 10 hari dengan menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis. Hasil pengukuran tiap perlakuan dapat dilihat pada gambar:



Gambar 4. Kadar sulfat pada P1 (AAT 1250mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) P2 (AAT 1250mL + sedimen bakau 20%) P3 (AAT 1250mL + biochar 15%) P4 (AAT 1250mL)

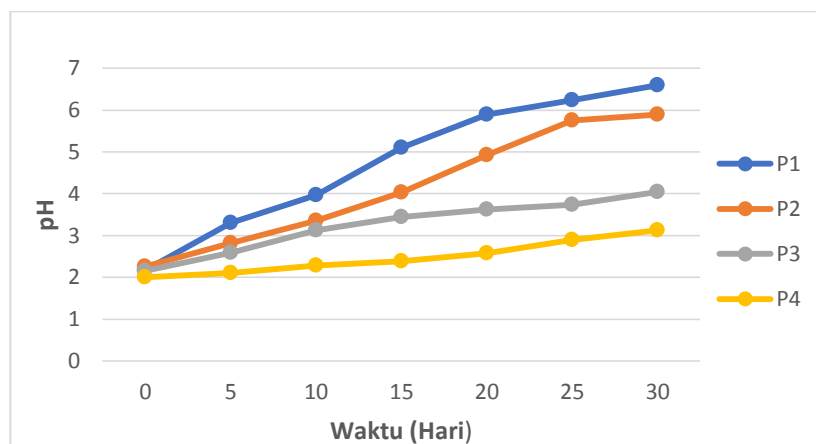
Dari data yang diperoleh, pada P1 hasil pengukuran kadar sulfat pada hari pertama inkubasi adalah 195,63 ppm yang secara bertahap mengalami penurunan hingga pada hari terakhir inkubasi menjadi 65,8 ppm. Pada P2 hasil pengukuran kadar sulfat pada hari pertama inkubasi adalah 200,3 ppm yang secara bertahap mengalami penurunan hingga hari terakhir menjadi 107 ppm. Adapun pada P3, kadar sulfat pada hari pertama inkubasi adalah 192,46 ppm yang secara bertahap mengalami penurunan hingga hari terakhir menjadi 127 ppm. Sementara untuk P4 yang merupakan kontrol tidak mengalami penurunan kadar sulfat secara signifikan yaitu pada hari pertama inkubasi 192,92 ppm hingga hari terakhir menjadi 176 ppm.

Penurunan kadar sulfat yang terjadi pada P1 P2 dan P3 disebabkan oleh adanya bakteri pereduksi sulfat yang terus berkembang dengan memanfaatkan bahan organik dari biochar maupun bahan organik lain pada sedimen bakau. Hal ini dikarenakan sedimen bakau sebagai sumber organik dan tersedianya nutrisi dari biochar yang menunjang pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat yang dalam prosesnya membutuhkan sumber energi dari sulfat sebagai akseptor organik dan bahan lain sebagai sumber karbon yang memiliki peran sebagai donor organik dalam membantu proses metabolisme serta bahan penyusun sel. Sulfat yang telah menerima elektron dari bahan organik, akan mengalami reduksi dan membentuk senyawa sulfida (Sutanto dkk, 2021) Proses reduksi sulfat akan berjalan dengan baik apabila kandungan organik tersebut tinggi. Hal ini selaras dengan pernyataan Fahrudin (2018) bahwa bakteri pereduksi sulfat termasuk kedalam mikroorganisme anaerob dengan kemampuan mereduksi asam sulfat menjadi sulfida.

Pada penelitian ini digunakan biochar dari sekam padi karena sekam padi merupakan bahan padat kaya karbon yang dapat digunakan bakteri sebagai donor elektron dalam proses metabolisme sehingga mendukung pertumbuhan bakteri dalam mereduksi sulfat. Selain itu, bakteri pereduksi sulfat hidup secara anaerob dan dapat ditemukan hampir pada semua tanah dan air yang mengandung bahan organik dengan suasana anaerob, termasuk sedimen bakau (Arnol, 2017). Perlakuan yang baik diperoleh pada P1 (20% Sedimen bakau + 15% biochar). Sedangkan perlakuan yang kurang baik dalam mereduksi sulfat adalah pada P4 (kontrol) dimana tidak adanya penambahan baik sedimen bakau maupun biochar sehingga bakteri pereduksi sulfat tidak memperoleh sumber karbon untuk melakukan proses reduksi sulfat.

Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan pada masing-masing perlakuan yang diinkubasi selama 30 hari dan diamati pada interval waktu 5 hari dengan menggunakan pH meter. Hasil pengukuran tiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar:



Gambar 5. pH pada perlakuan P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) P2 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20%) P3 (AAT 12500 mL + biochar 15%) P4 (AAT 1250 mL)

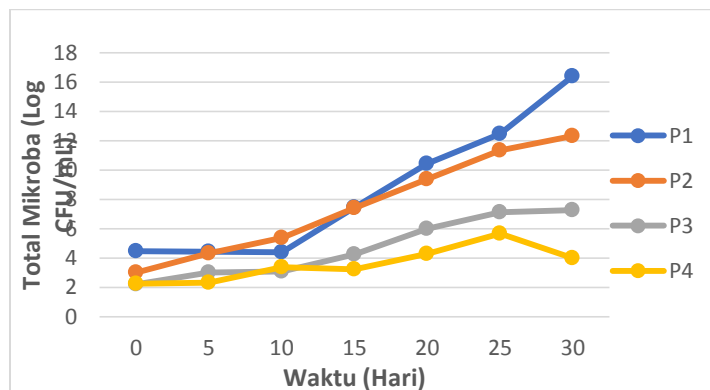
Berdasarkan data hasil pengukuran pH, terlihat bahwa P1, P2 dan P3 menunjukkan terjadinya peningkatan pH hingga akhir masa inkubasi. Pada P1 nilai pH pada hari pertama inkubasi adalah 2,16 yang secara bertahap mengalami peningkatan hingga akhir inkubasi dengan nilai pH 6,6. Pada P2 hasil pengukuran pH pada hari pertama inkubasi adalah 2,25 yang secara bertahap mengalami peningkatan hingga akhir inkubasi dengan nilai pH 5,9. Adapun pada P3, nilai pH pada hari pertama inkubasi adalah 2,15 yang secara bertahap mengalami peningkatan hingga pada hari terakhir dengan nilai pH 4,05. Sementara untuk P4 (kontrol) tidak mengalami peningkatan pH secara signifikan yaitu dengan pH pada hari pertama inkubasi adalah 2 dan pada hari terakhir pengamatan adalah 3,12.

Peningkatan pH yang terjadi disebabkan oleh aktivitas bakteri pereduksi sulfat yang memanfaatkan sumber energi dari sulfat yang ada pada air asam tambang dalam mereduksi sulfat dan menghasilkan bikarbonat yang kemudian berpengaruh terhadap kenaikan pH (Sandrawati, 2019). Sulfat termasuk ke dalam golongan asam kuat sehingga proses reduksi sulfat adalah dilepaskannya ion hidroksil, menghasilkan sulfida dan ion bikarbonat (Sembiring dkk, 2016). Pembentukan bikarbonat menandakan adanya kemampuan bakteri pereduksi sulfat dalam mengontrol pH di sekitar lingkungannya. Selain itu, peningkatan pH juga didukung oleh proses penguraian bahan organik pada biochar menghasilkan asam-asam organik yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Heryani (2018) yang menggunakan biochar dari sekam padi mengalami kenaikan pH dari 5,23 menjadi 7,41. Biochar memiliki gugus fungsional fenolik, karboksil, dan hidroksil yang bereaksi dengan ion H^+ dalam air sehingga mengurangi konsentrasi H^+ di larutan dan meningkatkan pH.

pH air asam tambang akan mengalami peningkatan seiring dengan menurunnya konsentrasi sulfat. Hal ini terjadi karena keterkaitan beberapa proses yaitu penggenangan, penambahan bahan organik dan aktivitas bakteri pereduksi sulfat. Perbedaan antara P1, P2 dan P3 terlihat pada kecepatan dalam meningkatkan pH, yang mana P1 lebih baik dalam menaikkan pH air asam tambang, dibandingkan P2 dan P3. Sedangkan pada P4 yang merupakan kontrol, menunjukkan pH yang tetap bersifat asam dikarenakan tidak adanya faktor pendukung yang dapat mengubah pH menjadi netral.

Perhitungan Total Mikroba

Perhitungan total mikroba dilakukan pada masing-masing perlakuan yang diinkubasi selama 30 hari dan diamati pada interval waktu 5 hari dengan menggunakan metode SPC. Hasil perhitungan total mikroba pada tiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar:



Gambar 6. Total mikroba pada perlakuan P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) P2 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20%) P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) P4 (AAT 1250 mL)

Berdasarkan data hasil perhitungan total, terlihat bahwa bakteri terus mengalami peningkatan hingga pada hari terakhir inkubasi. Pada P1, total mikroba yang terhitung dari hari pertama inkubasi adalah $2,9 \times 10^4$ CFU/mL dan terus mengalami peningkatan hingga hari terakhir dengan total mikroba $2,5 \times 10^{16}$ CFU/mL. Pada P2, total mikroba pada hari pertama inkubasi adalah $3,0 \times 10^3$ CFU/mL dan mengalami peningkatan hingga hari terakhir dengan total mikroba sebanyak $2,1 \times 10^{12}$ CFU/mL. Pada P3, total mikroba pada hari pertama inkubasi adalah $1,6 \times 10^2$ CFU/mL dan mengalami peningkatan total mikroba hingga akhir inkubasi dengan total mikroba sebanyak $1,9 \times 10^7$ CFU/mL. Pada P4, total mikroba pada hari pertama inkubasi adalah $1,8 \times 10^2$ CFU/mL dan pada hari ke-25 hingga hari ke-30 mengalami penurunan menjadi $1,0 \times 10^4$ CFU/mL.

Pada P1, P2, dan P3 memperlihatkan grafik yang terus meningkat sejak hari pertama hingga hari terakhir inkubasi. Hal ini dikarenakan sedimen yang digunakan mengandung bakteri pereduksi sulfat dan penambahan biochar sebagai bahan organik yang mengandung banyak sumber karbon. Biochar ini dimanfaatkan bakteri pereduksi sulfat untuk terus melakukan aktivitas metabolismenya sehingga jumlah mikroba terus bertambah. Bakteri telah mengalami fase adaptasi pada hari pertama dan memasuki fase pertumbuhan yang cepat ditandai dengan sel-sel yang masih secara aktif membelah sehingga terjadi peningkatan jumlah populasi mikroba hingga hari terakhir inkubasi. Bakteri yang mampu beradaptasi akan memanfaatkan sumber nutrisi untuk terus membelah sehingga jumlah sel semakin meningkat (Tansi, 2020). Sedangkan, pada P4 terjadi pertumbuhan mikroba namun tidak sebanyak P1, P2, dan P3 dan pada hari terakhir inkubasi mengalami penurunan. Penurunan laju pertumbuhan disebabkan oleh tidak adanya pemberian nutrisi sehingga bakteri akan mengalami persaingan dalam menggunakan nutrisi yang tersisa sehingga akan mengalami fase kematian.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan sedimen bakau dan biochar pada air asam tambang dalam menurunkan logam berat Fe sulfat, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penurunan logam berat Fe yang baik yaitu pada P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) dengan penurunan hingga 0,39 ppm dibandingkan dengan P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) yang hanya mampu menurunkan hingga 0,71 ppm.
2. Penurunan kadar sulfat yang baik yaitu pada P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) dengan penurunan hingga 65,8 ppm dibandingkan dengan P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) yang hanya mampu menurunkan kadar sulfat hingga 127 ppm.
3. Peningkatan pH yang baik yaitu pada P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) dengan peningkatan pH hingga 6,6 dibandingkan dengan P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) yang hanya mampu meningkatkan pH hingga 4,05.
4. Peningkatan jumlah populasi tertinggi selama 30 hari inkubasi secara berturut-turut adalah P1 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20% + biochar 15%) = $2,5 \times 10^{16}$ CFU/mL, P2 (AAT 1250 mL + sedimen bakau 20%) = $2,1 \times 10^{12}$ CFU/mL, P3 (AAT 1250 mL + biochar 15%) = $1,9 \times 10^7$ CFU/mL, dan P4 (AAT 1250 mL) = $1,0 \times 10^4$ CFU/mL.

Daftar Pustaka

- Arnol. 2017. Pengaruh Sedimen Bakau Sebagai Sumber Inokulum Mikroba Untuk Reduksi Logam Berat Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Sulfat Pada Air Asam Tambang. *Hasanuddin Student Journal*. 2(1): 254-262.
- Fahrudin, Abdullah, A. 2013. Dinamika Populasi Bakteri Pada Sedimen Yang Diperlakukan Dengan Air Asam Tambang. *Jurnal Alam dan Lingkungan*, 4(7) 2086- 4604
- Heryani. Ulfa, Benny Hidayat, Mukhlis, 2018, Pemanfaatan Jenis Biochar untuk Mempertahankan N- Total tanah Inceptisol, *Jurnal Pertanian Tropik*, 5(3):374-381.
- Perala, Iwan. Mohamad Yani. Irdika Mansur. 2022. Bioremediasi Air Asam Tambang dengan Pengayaan Bakteri Pereduksi Sulfat dan Penambahan Substrat Organik. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 18(2): 81-95.
- Putri, Kandi, R.R. Dirgarini J.N. Subagyo dan Alimuddin. 2019. Adsorpsi Ion Logam Fe Menggunakan Biochar (Arang Hayati) dari Kayu *Macaranga gigantea*.
- Qiu, M, Liu, L. Ling Q. Cai Y. Yu S. Wang S. dan Wang X. 2022. Biochar for the removal of Contaminants From Soil and water: a Review. *Biochar*. 4(1):19-25.
- Sutanto, Agus. Mia Cholvistaria. Beny Saputra. Nala Rahmawati. Suprayitno. 2021. Identifikasi Bakteri Pereduksi Sulfat Pada Kawah Air Panas Nirwana Suoh Lampung Barat. *Jurnal BIOLOVA*. 2(2).