



PENGARUH FAKTOR FISIK, KIMIA, DAN BIOLOGI MEDIUM TERHADAP LAJU KOROSI BESI

Wildan Saugi

Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Samarinda

wildan.saugi87@gmail.com

Citation:

Saugi, Wildan. (2021). Pengaruh Faktor Fisik, Kimia, dan Biologi Medium Terhadap Laju Korosi Besi. *bjsme*, 1(1), 29-54

Abstak

Korosi adalah suatu fenomena kimia pada bahan-bahan logam yang dapat terjadi karena proses fisis, khemis maupun biologis. Proses fisis ditandai dengan rusaknya morfologi logam, proses khemis ditandai dengan proses kimiawi yang terjadi pada logam, dan proses biologis yang ditandai dengan adanya aktivitas bakteri perusak pada logam. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)*, *medium bakteri*, *aquades*, dan *udara terhadap laju korosi besi*, mengetahui volume gas H_2S yang dihasilkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* lumpur lapindo pada proses biokorosi dan pemanfaatan hasil penelitian sebagai sumber belajar siswa SMA kelas X pada materi pembelajaran mikroorganisme. Penelitian ini menggunakan 4 perlakuan: Korosi yang ditimbulkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* yang dibandingkan dengan penyebab korosi lainnya yaitu air, udara, dan air medium tumbuh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)*. Perlakuan dilakukan dengan inkubasi selama 48 jam, 72 jam, 96 jam, 120 jam, dan 144 jam. Kemudian dihitung laju korosi masing-masing perlakuan dan volume gas H_2S yang dihasilkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media inkubasi berpengaruh terhadap laju korosi. Laju korosi tertinggi adalah paku besi yang diinokulasi dengan *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* sebesar 3,1969-5,5144 mm/tahun, sedangkan laju korosi terendah adalah pada perlakuan dengan udara yang mempunyai laju korosi sebesar 0,1037-0,5231 mm/tahun. Semakin lama waktu inkubasi, semakin besar volume H_2S yang dihasilkan. Volume gas H_2S tertinggi terdapat pada waktu inkubasi 144 jam yaitu sebanyak 1,2 mg/l, sedangkan volume gas H_2S terendah terdapat pada waktu inkubasi 48 jam yaitu sebanyak 0,73 mg/l. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi pada materi pembelajaran mikroorganisme yang diwujudkan dalam bentuk *powerpoint*.

Kata Kunci: korosi, *sulphate reducing bacteria (srb)*, isolasi bakteri, laju korosi, sumber belajar

A. Pendahuluan

Korosi adalah suatu proses kerusakan bahan-bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion di permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen. Salah satu penyebab rusaknya barang-barang yang terbuat dari logam serta ambruknya suatu infrastruktur seperti jembatan, jalan layang atau dermaga adalah karena terkorosinya logam dalam barang-barang tersebut. Hal tersebut sangat merugikan para penggunanya. Kerugian yang dapat ditimbulkan oleh korosi tidak hanya biaya langsung seperti pergantian peralatan, perawatan, dan sebagainya, tetapi juga biaya tidak langsung seperti terganggunya proses penggunaan, produksi dalam industri serta kelancaran transportasi yang umumnya lebih besar dibandingkan biaya langsung.

Korosi merupakan proses yang bersifat alamiah, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya. Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur penyusun yang ada dalam bahan, teknik pencampuran bahan dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif dan sebagainya.

Proses korosi pada logam erat kaitannya dengan kondisi logam itu sendiri, tempat (lingkungan), perlakuan sewaktu logam dalam proses perubahan fungsi atau bentuk. Proses korosi tersebut akan berhubungan langsung dengan udara terbuka yang mengandung senyawa asam. Apabila terjadi hujan, permukaan logam menjadi basah dengan sifat asam. Di dalam udara terdapat banyak sekali sampah dan debu sebagai pencemar dengan partikel-partikel air embun. Sewaktu bintik-bintik embun/air hujan telah kering, proses korosi berhenti dan akan terjadi korosi kembali apabila ada air. Dalam hal ini korosi merupakan proses kerusakan suatu bahan atau proses perubahan sifat suatu bahan akibat pengaruh atau reaksinya dengan lingkungan. Apabila dipacu oleh pengaruh-pengaruh luar (lingkungan) yang terus-menerus, sehingga menjadi stimulan (penggiat) yang berkesinambungan untuk semakin cepat proses korosinya. Faktor dari lingkungan penyebab korosi diantaranya adalah O_2 , H_2O , CO_2 , pH, temperatur tinggi kerusakan mekanis dan mikrobial sehingga diindikasikan dapat terjadi korosi melalui proses fisik, kimia, biologi, elektrokimia, mekanis, dan suhu tinggi (Suhartanti, 2006).

Korosi dapat terjadi karena proses fisik, kimia maupun biologi yang berkaitan dengan interaksi antara ketiganya. Korosi fisik dapat terjadi karena kontak antara logam dengan ion di lingkungan. Korosi kimia terjadi karena adanya senyawa-senyawa kimia yang dapat menyebabkan korosi, seperti asam ataupun merkuri. Korosi biologi dapat terjadi karena adanya mikrobial penyebab korosi. Mikrobial hadir pada kondisi aerob maupun anaerob. Salah satu mikrobial yang turut berperan dalam proses korosi mikrobiologis adalah *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) atau bakteri pereduksi sulfat yang hidup secara anaerob dan dapat tumbuh pada kisaran pH 2 sampai pH 9, tetapi optimalnya pada pH 7. Mikrobial ini ditemukan hampir pada semua tanah, dan air, terutama yang banyak mengandung bahan organik (Suhartanti, 2006).

Mikrobial menjadi salah satu faktor yang dapat menyebabkan lingkungan menjadi sangat korosif. Hal tersebut dilakukan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dengan cara memanfaatkan bahan organik yang direduksi menjadi ion-ion sulfat bebas sehingga

dimungkinkan akan terjadi ion-ion bebas di lingkungan sekitarnya. Diantaranya adalah terbentuknya H_2S yang merupakan salah faktor penyebab korosi karena sifatnya yang asam. Dengan demikian, akan terjadi proses kimia karena adanya senyawa asam hasil dari proses reduksi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), sehingga lingkungan menjadi sangat korosif dan terjadi korosi yang menyebabkan permukaan fisik logam menjadi rusak dengan terjadi perubahan struktur maupun komposisi logam. Hal tersebut menunjukkan adanya interaksi antara ketiga faktor korosi yang menyebabkan laju korosi menjadi semakin tinggi.

Gehrke dan Sand dalam Ray dkk. menyimpulkan dalam penelitiannya bahwa korosi disebabkan oleh kombinasi dari *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dan *Thiobacilli* pada suatu tumpukan baja. Sulfida dihasilkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) di daerah anaerob dan asam sulfat dihasilkan oleh *Thiobacilli* di daerah aerobik serta adanya interaksi faktor tersebut dengan lingkungan luar sehingga terbentuk suatu lingkungan yang sangat korosif (Tim Laboratorium FKM UAD, 2009).

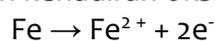
Hal tersebut diatas menunjukkan bahwa faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Faktor-faktor korosi tersebut di alam akan terjadi interaksi antara satu dengan lainnya, sehingga dimungkinkan akan terjadi korosi yang berasal dari gabungan faktor-faktor tersebut sehingga korosi akan lebih cepat lajunya.

Fenomena korosi yang menunjukkan kerugian besar bagi manusia, baik secara fisik, kimia, maupun biologi perlu mendapatkan suatu perhatian sehingga suatu proses tersebut dapat dicegah ataupun diperlambat perkorosiannya. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui laju korosi logam (besi) melalui berbagai proses korosi. Sesuai pengkajian kurikulum dalam pembelajaran SMA kelas X pada materi mikroorganisme, maka permasalahan bahayanya korosi dapat dimasukkan dalam sub-bab tentang peranan bakteri dalam kehidupan manusia. Dengan demikian diharapkan dapat memberikan informasi dan pemahaman kepada siswa tentang bahayanya korosi yang terjadi pada logam, terutama adanya bakteri pereduksi sulfat yang menjadi faktor penyebabnya juga. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai alternatif sumber belajar bagi siswa SMA kelas X pada materi pembelajaran Mikroorganisme yang merugikan bagi manusia yang disajikan dalam bentuk media pembelajaran power point.

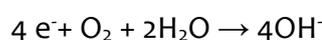
B. Tinjauan Pustaka

1. Korosi

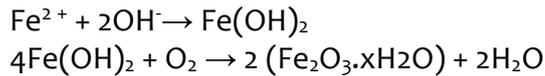
Korosi adalah suatu proses kerusakan bahan-bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion di permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen. Proses oksidasi ini menghasilkan pembentukan campuran senyawa oksida besi dan hidroksida. Proses korosi melibatkan tiga tahap dan energi yang dilepaskan selama proses. Tahap pertama melibatkan pembentukan ion besi dari logam. Tahap kedua, ion hidroksida terbentuk. Tahap ketiga melibatkan reaksi yang terjadi dengan kehadiran oksigen, sehingga terbentuk karat.



Elektron yang dilepaskan akan bereaksi dengan air dan oksigen. Hal ini menyebabkan reaksi reduksi yang melibatkan oksigen dan molekul air dan menghasilkan ion hidroksida

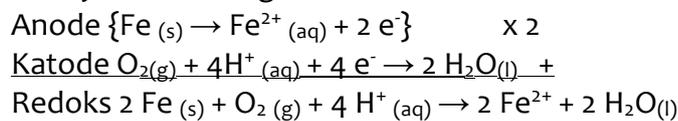


ion hidroksida bereaksi dengan besi (II) ion dan oksigen yang membentuk oksida besi.



Hasil dari korosi adalah oksida besi (Fe_2O_3) yang dibentuk oleh besi hidroksida dehidrasi (Davidciglar, 2007).

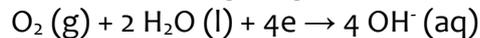
Kennet dan Chamberlain dalam Prihasa (2009) menyatakan bahwa korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi atau pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan-bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen. Contoh yang paling umum, yaitu kerusakan logam besi dengan terbentuknya karat oksida. Korosi logam melibatkan proses anodik, yaitu oksidasi logam menjadi ion dengan melepaskan elektron ke dalam (permukaan) logam dan proses katodik yang mengkonsumsi electron tersebut dengan laju yang sama : proses katodik biasanya merupakan reduksi ion hidrogen atau oksigen dari lingkungan sekitarnya. Untuk contoh korosi logam besi dalam udara lembab, misalnya proses reaksinya dapat dinyatakan sebagai berikut :



Dari data potensial elektrode dapat dihitung bahwa energi standar untuk proses korosi ini yaitu $E_o \text{ sel} = +1,67 \text{ V}$; reaksi ini terjadi pada lingkungan asam dimana ion H^+ sebagian dapat diperoleh dari reaksi karbon dioksida atmosfer dengan air membentuk H_2CO_3 . Ion Fe^{2+} yang terbentuk di anode kemudian teroksidasi lebih lanjut oleh oksigen membentuk besi (III) oksida :



Hidrat besi (III) oksida kemudian dikenal sebagai karat besi. Sirkuit listrik dipacu oleh migrasi elektron dan ion, itulah sebabnya korosi cepat terjadi dalam air garam. Jika proses korosi terjadi dalam lingkungan basa, maka reaksi katodik yang terjadi, yaitu :



Oksidasi lanjut ion Fe^{2+} tidak berlangsung karena lambatnya gerak ion ini sehingga sulit berhubungan dengan oksigen udara luar, tambahan pula ion ini segera ditangkap oleh garam kompleks hexasianoferat (II) membentuk senyawa kompleks stabil biru. Lingkungan basa tersedia karena kompleks kalium heksasianoferat (III).

Korosi besi relatif cepat terjadi dan berlangsung terus-menerus, sebab lapisan senyawa besi (III) oksida yang terjadi bersifat porous sehingga mudah ditembus oleh udara maupun air. Tetapi meskipun alumunium mempunyai potensial reduksi jauh lebih negatif daripada besi, namun proses korosi lanjut menjadi terhambat karena hasil oksidasi Al_2O_3 yang melapisinya tidak bersifat porous sehingga melindungi logam yang dilapisi dari kontak dengan udara luar.

Korosi dipengaruhi oleh mikrobia yang merupakan suatu inisiasi aktifitas mikrobia pada proses korosi. Korosi pertama diidentifikasi hampir 100 jenis dan telah dideskripsikan awal tahun 1934. Korosi yang disebabkan aktifitas mikroba tidak dipandang serius saat degradasi pemakaian sistem industri modern hingga pertengahan tahun 1970-an. Ketika pengaruh serangan mikrobia semakin tinggi, sebagai contoh tangki air stainless steel dinding dalam terjadi serangan korosi lubang yang luas pada permukaan sehingga para industriawan menyadari serangan korosi tersebut, sehingga pada saat itu, korosi jenis ini merupakan salah satu faktor pertimbangan pada instalasi pembangkit industri,

industri minyak dan gas, proses kimia, transportasi dan industri kertas pulp. Selama tahun 1980 dan berlanjut hingga awal tahun 2000, fenomena tersebut dimasukkan sebagai bahan perhatian dalam biaya operasi dan pemeriksaan sistem industri (Priyotomo dkk., 2007).

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur penyusun yang ada dalam bahan, teknik pencampuran bahan dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif dan sebagainya. Bahan-bahan korosif (yang dapat menyebabkan korosi) terdiri atas asam, basa dan garam, baik dalam bentuk senyawa an-organik maupun organik (Akhadi, 2000).

Cara mencegah korosi dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah mengecat permukaan logam, melapisi dengan logam yang lebih mulia/kurang aktif, melapisi dengan logam yang lebih aktif (mudah teroksidasi) dari besi dengan E_0 logam tersebut lebih kecil dari E_0 besi (dikenal sebagai pelindung katode), menanam batang-batang logam yang lebih aktif dekat logam besi dan menghubungkannya, dan dibuat paduan logam (aliansi) seperti stainless steel (baja tahan karat) (Anonim^a, 2009).

Kerusakan yang terjadi pada logam yang berpotensi menimbulkan korosi, maka alternatif yang dapat dilakukan seperti: *coating, injection, shotcrete, prepacked concrete, dan jacketing*.

a. *Coating*

Perbaikan *coating* adalah melapisi permukaan logam dengan cara mengoleskan atau menyemprotkan bahan yang bersifat plastik dan cair. Lapisan ini digunakan untuk menyelimuti logam terhadap lingkungan yang merusak logam.

b. *Injection (grouting)*

Perbaikan *injection* adalah memasukkan bahan yang bersifat encer kedalam celah atau retakan pada logam, kemudian diinjection dengan tekanan, sampai terlihat pada lubang atau celah lain telah terisi atau mengalir keluar.

c. *Shotcrete*

Perbaikan *Shotcrete* adalah menembakkan logam dengan ukuran agregat yang kecil, pada permukaan logam yang akan diperbaiki. *Shotcrete* dapat digunakan untuk perbaikan permukaan yang vertikal maupun horisontal dari bawah. Metode ini hanya cocok untuk retak yang lebar.

d. *Prepacked Concrete*

Perbaikan *prepacked concrete* adalah mengupas logam, kemudian dibersihkan dan diisi dengan logam segar, logam baru ini dibuat dengan cara mengisi ruang kosong dengan agregat sampai penuh.

e. *Jacketing*

Perbaikan *jacketing* adalah melindungi logam terhadap kerusakan dengan menggunakan bahan selubung (Prihasa, 2009).

2. Bakteri Pereduksi Sulfat

Bakteri pereduksi sulfat atau *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)*, merupakan salah satu mikrobial yang ikut berperan dalam proses korosi yang hidupnya secara anaerob. Bakteri ini ditemukan hampir pada semua tanah dan air, terutama yang banyak

mengandung bahan organik. Bakteri pengoksidasi sulfur/sulfid termasuk golongan bakteri aerob yang memperoleh energi dari oksidasi sulfid atau elemen sulfur menghasilkan sulfat. Beberapa tipe bakteri aerob, dapat mengoksidasi sulfur menjadi asam sulfur pada pH dibawah 1,0 (Suhartanti, 2006).

Sulphate Reducing Bacteria (SRB) yang hidup secara anaerob dan dapat tumbuh pada kisaran pH 2 sampai pH 9, tetapi optimalnya pada pH 7. Dalam suasana anaerob, asam sulfat akan direduksi oleh bakteri pereduksi sulfat menghasilkan gas H₂S dan H₂O. H₂S yang dihasilkan akan bereaksi dengan besi membentuk FeS, Fe(OH)₂. Bakteri lain yang berperan dalam korosi adalah bakteri yang hidup secara aerob, misalnya aktivitas *Thiobacillus* yang dapat menghasilkan suatu lingkungan asam yang korosif. Dalam kondisi yang aerob, bakteri ini akan mengoksidasi sulfur atau senyawa sulfur menjadi asam sulfat yang mempercepat korosi. Bakteri memperoleh energi dari oksidasi Fe²⁺ menjadi Fe³⁺ yang terlihat pada endapan (Suhartanti, 2006).

3. Isolasi Bakteri

Populasi mikrobia di alam tidak terpisah sendiri menurut jenisnya, tetapi terdiri dari campuran berbagai mikrobia. Populasi bakteri ini dapat diisolasi menjadi kultur murni yang terdiri dari satu jenis yang dapat dipelajari morfologi, sifat dan kemampuan biokimiawinya. Sebelum melakukan isolasi terlebih dahulu dilakukan pengambilan sampel (Gambar 1.a). Berikut merupakan prosedur pengambilan sampel:

a. Sampel tanah

Jika mikrobia yang diinginkan kemungkinan berada di dalam tanah, maka cara pengambilannya disesuaikan dengan tujuan dan kebutuhan. Misalnya jika yang diinginkan mikrobia rhizofe maka sampel diambil dari sekitar perakaran dekat permukaan hingga ujung perakaran.

b. Sampel air

Pengambilan sampel air bergantung kepada keadaan air itu sendiri. Jika berasal dari air sungai yang mengalir maka botol dicelupkan miring dengan bibir botol melawan arus air. Bila pengambilan sampel dilakukan pada air yang tenang, botol dapat dicelupkan dengan tali, jika ingin mengambil sampel dari air keran maka sebelumnya kran dialirkan dahulu beberapa saat dan mulut kran dibakar.

Tujuan dari pengenceran bertingkat yaitu memperkecil atau mengurangi jumlah mikroba yang tersuspensi dalam cairan. Penentuan besarnya atau banyaknya tingkat pengenceran tergantung kepada perkiraan jumlah mikrobia dalam sampel. Digunakan perbandingan 1 : 9 untuk sampel dan pengenceran pertama dan selanjutnya, sehingga pengenceran berikutnya mengandung 1/10 sel mikrobia dari pengenceran sebelumnya (Gambar 2.b).

4. Lumpur Lapindo

Lumpur Lapindo muncul di permukaan bumi pada tanggal 27 Mei 2006. Peristiwa ini menjadi suatu tragedi ketika banjir lumpur panas mulai menggenangi areal persawahan, pemukiman penduduk dan kawasan industri. Volume lumpur diperkirakan sekitar 5.000 hingga 50 ribu meter kubik perhari (setara dengan muatan penuh 690 truk peti kemas berukuran besar). Semburan lumpur ini membawa dampak yang sangat merugikan masyarakat sekitar maupun bagi aktivitas perekonomian di Jawa Timur. Genangan hingga setinggi 6 meter pada pemukiman. Total warga yang dievakuasi lebih

dari 8.200 jiwa. Rumah atau tempat tinggal yang rusak sebanyak 1.683 unit. Areal pertanian dan perkebunan rusak hingga lebih dari 200 ha. Lebih dari 15 pabrik yang tergenang menghentikan aktivitas produksi dan meliburkan lebih dari 1.873 orang pegawainya. Rusaknya sarana dan prasarana infrastruktur (jaringan listrik dan telepon). Terhambatnya ruas jalan tol Malang-Surabaya yang berakibat pula terhadap aktivitas produksi di kawasan Ngoro (Mojokerto) dan Pasuruan yang selama ini merupakan salah satu kawasan industri utama di Jawa Timur (Wibisono, 2006).

Lumpur juga berbahaya bagi kesehatan masyarakat. Kandungan logam berat (Hg), misalnya, mencapai 2,565 mg/liter Hg, padahal baku mutunya hanya 0,002 mg/liter Hg. Hal ini menyebabkan infeksi saluran pernapasan, iritasi kulit dan kanker. Kandungan fenol bisa menyebabkan sel darah merah pecah (hemolisis), jantung berdebar (cardiac aritmia), dan gangguan ginjal (Wibisono, 2006).

Penelitian kandungan logam berat lumpur Lapindo yang diambil pada titik di sekitar 200 meter dari pusat semburan menunjukkan adanya logam berat berbahaya jauh di atas ambang batas yang dipersyaratkan, misalnya Cd 10,45 ppm, As 0,99 ppm, dan Hg 1,96 ppm. Padahal ambang batas yang dipersyaratkan menurut Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia (SNI), Nilai Ambang Batas (NAB) tahun 2005 menunjukkan bahwa Cd mempunyai nilai ambang batas sebesar (0,01-0,03) ppm, As mempunyai nilai ambang batas sebesar 0,01 ppm, dan Hg mempunyai nilai ambang batas sebesar (0,025-0,1) ppm. Hasil penelitian lain dilakukan oleh Santosa (2006) melalui *Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology* (ICBB) ini menunjukkan adanya *Coliform*, *Salmonella* dan *Stapylococcus aureus* di atas ambang batas yang dipersyaratkan.

Santosa (2006) juga menyatakan bahwa semua bakteri itu masuk dalam kelompok bakteri patogen, sehingga menimbulkan konsekuensi ke depan bahwa dalam kondisi ekstrim, bakteri patogen bisa berubah sifat atau mengalami mutasi. Mutasi negatif atau positif bagi bakteri itu. Mutasi negatif bagi bakteri bila kemampuannya untuk menginfeksi menjadi mati (menjadi tidak berbahaya bagi lingkungan), dan mutasi positif baginya bila semakin meningkat kemampuan infeksinya (menjadi berbahaya bagi lingkungan).

Lumpur di Porong semakin meluas semburannya dengan mencapai 50 ribu meter kubik per hari lumpur panas. Tim ahli dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (Surabaya) pernah memberi solusi pemanfaatan lumpur agar dibuat batu bata. Hasil penelitian dari peneliti dan pengajar mikrobiologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya (Malang) juga mempunyai alternatif solusi memecahkan permasalahan tersebut. Menurutnya, solusi-solusi yang ditawarkan kebanyakan bersifat sesaat dan tidak memecahkan permasalahan sesungguhnya yaitu dengan berpikir agar lahan masyarakat dapat digunakan kembali untuk bertambak dan bertani. Berdasarkan hasil riset, maka diketahui bahwa lumpur Lapindo mengandung logam berat besi (Fe) terlarut dalam 0,1 N; HCl lebih tinggi dari 700 ppm; Mangan (Mn), Aluminium (AL), Natrium (Na), dan Chlor (Cl) juga cukup tinggi. Dengan kandungan logam-logam berat tersebut, maka lahan di sekitar Lapindo tidak bisa digunakan lagi untuk sawah ataupun tambak. Solusi pembuatan batu bata tidak mensterilkan senyawa-senyawa yang terkandung di lumpur. Batu bata tersebut masih membahayakan manusia dan ekosistem (Anonim, 2008).

Mawuntyas (2006) menyatakan bahwa penyebaran bakteri menjadi solusi yang efektif untuk memulai kehidupan baru di atas lumpur Lapindo tanpa membahayakan

ekosistem. Bakteri yang mati pun akan menjadi kandungan bahan organik baru. Sehingga, ketika kandungan bahan organik itu sudah tinggi, lumpur Lapindo bisa ditanami kembali.

C. Metode Penelitian

1. Jenis dan Variabel Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Variabel bebas penelitian ini adalah waktu inkubasi (48 jam, 72 jam, 96 jam, 120 jam, dan 144 jam) dan medium perlakuan (*Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), *medium bakteri*, *air (aquades)*, dan *udara*). Variabel terikat penelitian ini adalah perbedaan laju korosi paku besi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), *medium bakteri*, *air (aquades)*, dan *udara*, serta volume H₂S yang dihasilkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) berdasarkan waktu inkubasi.

2. Cara Kerja

a. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker, pipet ukur, tabung titrasi (buret) dan perlengkapannya, pipet ukur, pipet tetes, indikator pH, aluminium foil, lampu spiritus, rak tabung reaksi, inkubator, oven, timbangan analitik, amplas, vortex, microwave dan desikator.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dari lumpur lapindo, paku besi, aquadest, *medium sharpley cair* (*sodium laktat*, *magnesium sulfat* (MgSO₄.7H₂O), *yeast extract*, *vitamin C*, *potasium fosfat dibasic* (K₂HPO₄), *ferrous ammonium sulphat* (Fe(SO₄)₂(NH₄)₂.6H₂O), *sodium chlorid* (NaCl), dan *aquadest*), *larutan I₂ 0,01N*, *larutan pati*, *larutan H₂SO₄ 10%*, *larutan natrium thiosulfat 0,1 N* (Na₂S₂O₃), kertas bungkus cokelat dan kapas.

b. Prosedur Kerja

Sterilisasi alat, Semua alat dicuci bersih dan dikeringkan alat-alat seperti tabung reaksi dan pipet ukur dibungkus dengan kertas bungkus cokelat, kemudian disterilkan dalam oven pada suhu 170 –180 °C selama 2 jam (Tim Laboratorium FKM UAD, 2009). Kemudian, isolasi *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dari lumpur Lapindo, Isolasi yang dilakukan adalah dengan melarutkan Lumpur lapindo ke dalam aquades, kemudian dilakukan pengenceran dengan menggunakan medium spesifik (*medium sharpley*) dengan komposisi kandungan nutrisinya sebagai berikut: *Sodium laktat* 4 ml, *Yeast extract* 1 gram, *Vitamin C* 0,1 gram, *Magnesium Sulphat* (MgSO₄.7H₂O) 0,2 gram, *Potasium Phosphat Dibasic* (K₂HPO₄) 0,01 gram, *Ferrous Ammonium Sulphat* (Fe(SO₄)₂(NH₄)₂.6H₂O) 0,1 gram, *Sodium Chloride* (NaCl) 10 gram, *Aquadest* 1000 ml (Suhartanti, 1985). Adapun langkah-langkah dalam isolasi mikrobia dari lumpur Lapindo adalah 1 gram lumpur diambil dari stok lumpur lapindo dan dimasukkan dalam tabung reaksi yang telah berisi 10 ml aquades steril, kemudian di vortex hingga homogen. Selanjutnya diambil 1 ml dari hasil homogenisasi stok lumpur lapindo dan kemudian dimasukkan dalam tabung reaksi yang telah berisi *medium sharpley cair* sebanyak 9 ml, kemudian dihomogenisasikan kembali dengan menggunakan vortex. Diinkubasi selama 6 hari dengan suhu 37 °C dalam inkubator.

c. Perbedaan laju korosi besi oleh 4 (empat) perlakuan yaitu *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), *medium bakteri* (*media tumbuh tanpa bakteri*), *air steril (aquadest)*, dan *udara steril*. Menghitung laju korosi oleh 4 (empat) perlakuan adalah sebagai berikut:

Petama, ditimbang berat besi semua perlakuan sebelum dimasukkan dalam medium perlakuan. **Kedua**, disiapkan 64 tabung reaksi untuk 4 (empat) perlakuan dan juga

suspensi cair hasil isolasi selama 1 minggu. Perlakuan waktu yang digunakan adalah 48 jam, 72 jam, 96 jam, 120 jam, dan 144 jam. **Ketiga**, perlakuan I yaitu tabung reaksi diisi dengan 10 ml medium sharpley, *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), dan paku besi serta di atasnya ditutup dengan vaselin sehingga tidak ada udara yang masuk. **Keempat**, perlakuan II yaitu tabung reaksi diisi dengan 10 ml medium dan paku besi. Kelima, perlakuan III yaitu tabung reaksi diisi dengan 10 ml air steril (aquadest) dan paku besi. **Keenam**, perlakuan IV yaitu tabung reaksi tidak diisi dengan apapun karena yang digunakan adalah udara. **Ketujuh**, disediakan 4 (empat) kontrol (tanpa paku besi) yaitu kontrol *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dengan medium tumbuhnya, kontrol medium tanpa bakteri, kontrol aquadest, dan kontrol udara steril. Keenam, masing-masing perlakuan digunakan 3 (tiga) kali pengulangan. **Kedelapan**, setelah diinkubasi selama 48 jam, 72 jam, 96 jam, 120 jam dan 144 jam diamati perubahan yang terjadi pada masing-masing perlakuan dari segi warna medium, cairan dan kondisi paku besi. Kesembilan, setelah diamati, diambil paku besi pada masing-masing perlakuan sesuai dengan lamanya waktu inkubasi dan besi tersebut dimasukkan dalam desikator. Hal ini bertujuan agar kadar air pada paku besi hilang. Kesepuluh, setelah kadar airnya hilang, maka masing-masing perlakuan dilakukan penimbangan. Sebelum penimbangan, maka dilakukan pengamplasan sehingga didapat berat bersih dari paku besi. **Kesembilan**, Berat besi yang seharusnya didapat adalah berat sesudah perlakuan lebih kecil dari berat besi sebelum perlakuan. Sehingga rumusnya adalah Berat Awal – Berat Akhir (setelah perlakuan). **Kesepuluh**, Dihitung kecepatan korosi dengan menggunakan rumus:

$$CPR = \frac{KxW}{DxAxT} \text{ mm/tahun} \quad (\text{Fontana, 1987}).$$

$$W = W_0 - W_a$$

Keterangan:

CPR = Corrosion Penetrating Rate (laju korosi)... (mm/tahun)

W = Kehilangan berat / weight lose..... (mg)

W₀ = Berat awal.....(mg)

W_a = Berat akhir.....(mg)

D = Densitas / rapatan benda uji(g/cm³)

T = Lama korosi(jam)

A = Luas permukaan benda uji (cm²)

K = Konstanta.....(8,76 x 10⁴ mm/tahun)

d. *Analisa H₂S yang dihasilkan oleh Sulphate Reducing Bacteria (SRB)*

Air hasil perendaman paku besi sesuai perlakuan yaitu 48 jam, 72 jam, 96 jam, 120 jam, dan 144 jam dilakukan analisa H₂S yang terbentuk. Caranya adalah sebagai berikut: Dalam erlemeyer disediakan 10 ml I₂ 0,01 N, ditambah 5 ml H₂SO₄ 10%, dan 2 tetes pati untuk indikator, dan kemudian ditambahkan larutan sempel (larutan yang untuk merendam besi) sebanyak 5 ml, didiamkan selama 5 menit, lalu dititrasasi dengan larutan Natrium thiosulfat 0,1 N (Na₂S₂O₃). Banyaknya H₂S yang dihasilkan sama dengan I₂ setelah bereaksi dengan natrium thiosulfat. Kemudian didapatkan volume gas H₂S berdasarkan volume natrium thiosulfat yang digunakan untuk titrasi.

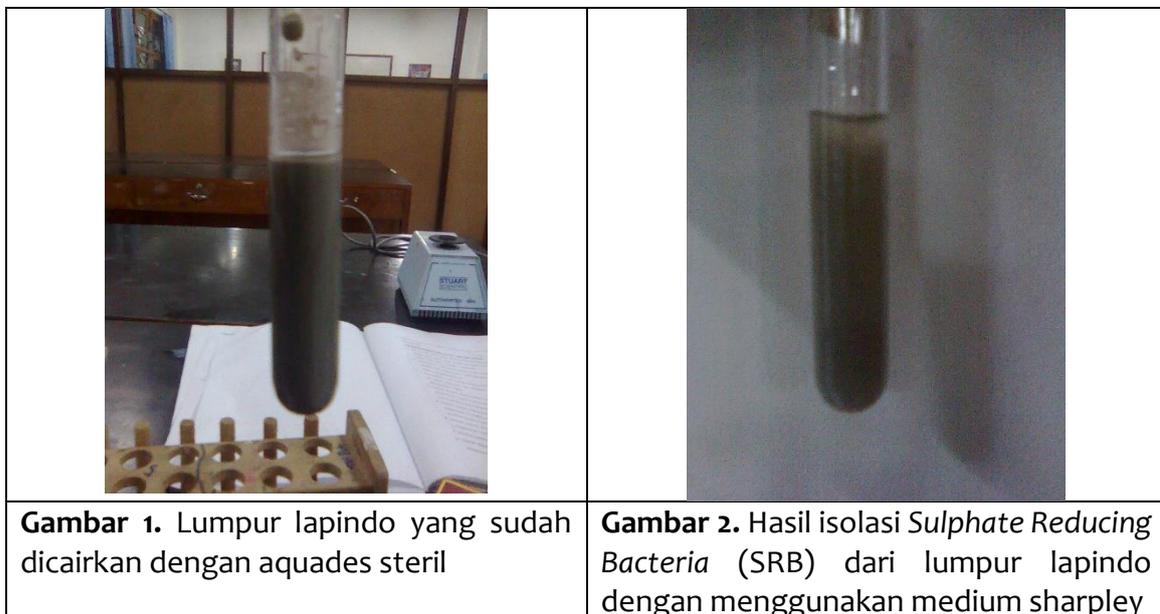
3. Analisis Data

Untuk mengetahui perbedaan macam perlakuan inkubasi terhadap laju korosi dilakukan uji anava. Apabila berbeda nyata, maka akan dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) (Sudjana, 2002).

D. Hasil dan Pembahasan

1. Isolasi *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dari Lumpur Lapindo

Isolasi pada penelitian ini dilakukan pengenceran stok lumpur Lapindo dengan aquades sebanyak 1 gram lumpur Lapindo. Hasil dari pengenceran diambil 1 ml untuk isolasi dengan menggunakan medium sharpley cair yang sudah disediakan di tabung reaksi sebagai nutrisi bakteri untuk tumbuh. Medium Sharpley merupakan medium spesifik untuk mikrobial pereduksi sulfat atau *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) sehingga selain mikrobial tersebut akan mengalami kematian. Hal ini dikarenakan medianya yang tidak cocok dengan mikrobial lain. Berikut adalah gambar hasil isolasi *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) lumpur Lapindo:



Mikrobial yang diisolasi agak berbeda dengan isolasi mikrobial aerob ataupun anaerob fakultatif. *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) termasuk bakteri anaerob obligat yang artinya mutlak harus tidak ada oksigen di lingkungan sekitar. Isolasi yang dilakukan untuk mendapatkan biakan murni *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) harus tidak ada udara luar yang masuk. Dalam proses ini, maka diperlukan adanya vaselin untuk menutup permukaan lumpur yang sudah diencerkan sehingga tidak ada udara yang dapat masuk dalam lumpur yang telah dilakukan isolasi. Gambar hasil dari isolasi selama 6 hari adalah sebagai berikut:

	<p style="text-align: center;">1</p> 
<p>Gambar 3. Hasil isolasi <i>Sulphate Reducing Bacteria</i> (SRB) lumpur lapindo selama 6 hari dengan menggunakan medium sharpley dengan vaselin dipermukaan lumpur</p>	<p>Gambar 4. Hasil isolasi <i>Sulphate Reducing Bacteria</i> (SRB) dari lumpur lapindo dengan menggunakan media sharpley dan tanpa vaselin diatas</p>

Gambar 3 dapat diindikasikan adanya *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) yang dicirikan dengan warna hitam pekat pada lumpur yang awalnya berwarna abu-abu. Sifatnya yang anaerob obligat sangat ditentukan oleh mutlak tidak adanya udara bebas sehingga *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dapat tumbuh dan berkembang. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya hasil dari isolasi tanpa adanya vaselin sebagai pemisah dengan udara luar diatas permukaan lumpur. Dari berbagai hasil penelitian untuk mengisolasi *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), maka hanya sedikit yang dapat tumbuh. Kebanyakan tidak menunjukkan tumbuhnya *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB). Hal ini dapat dilihat dari gambar 4.

Isolasi untuk mengembangkan kultur campuran yang mengandung *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) tidak *sulit* untuk mendapatkannya sebagai kultur yang hampir murni, tetapi secara umum tidak mudah untuk mengisolasi strain yang benar-benar murni. Pada dasarnya dalam membuat kultur murni harus dipersiapkan medium yang sesuai karakter mikrobial dan dilakukan pengenceran sampel yang akan dijadikan kultur murni. Starkey (1938) menyatakan bahwa sebuah media padat yang mengandung sulfat, laktat dan garam besi akan dapat terbentuk reduksi sulfat hitam koloni dan dapat juga ditempatkan dalam medium cair. Prosedur ini yang tampaknya sederhana tetapi tidak dapat dengan mudah langsung berhasil, tetapi kadang-kadang yang muncul adalah jenis mikrobial termofilik. Namun, hal yang perlu dilakukan untuk mendapatkan kultur murni dapat dilakukan dengan memasukkan larutan 3% $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ di medium untuk menghilangkan sebagian besar kultur lain yang tidak diharapkan untuk tumbuh, sehingga memudahkan mendapatkan bakteri pereduksi sulfat (Buylin, K. R., 1948).

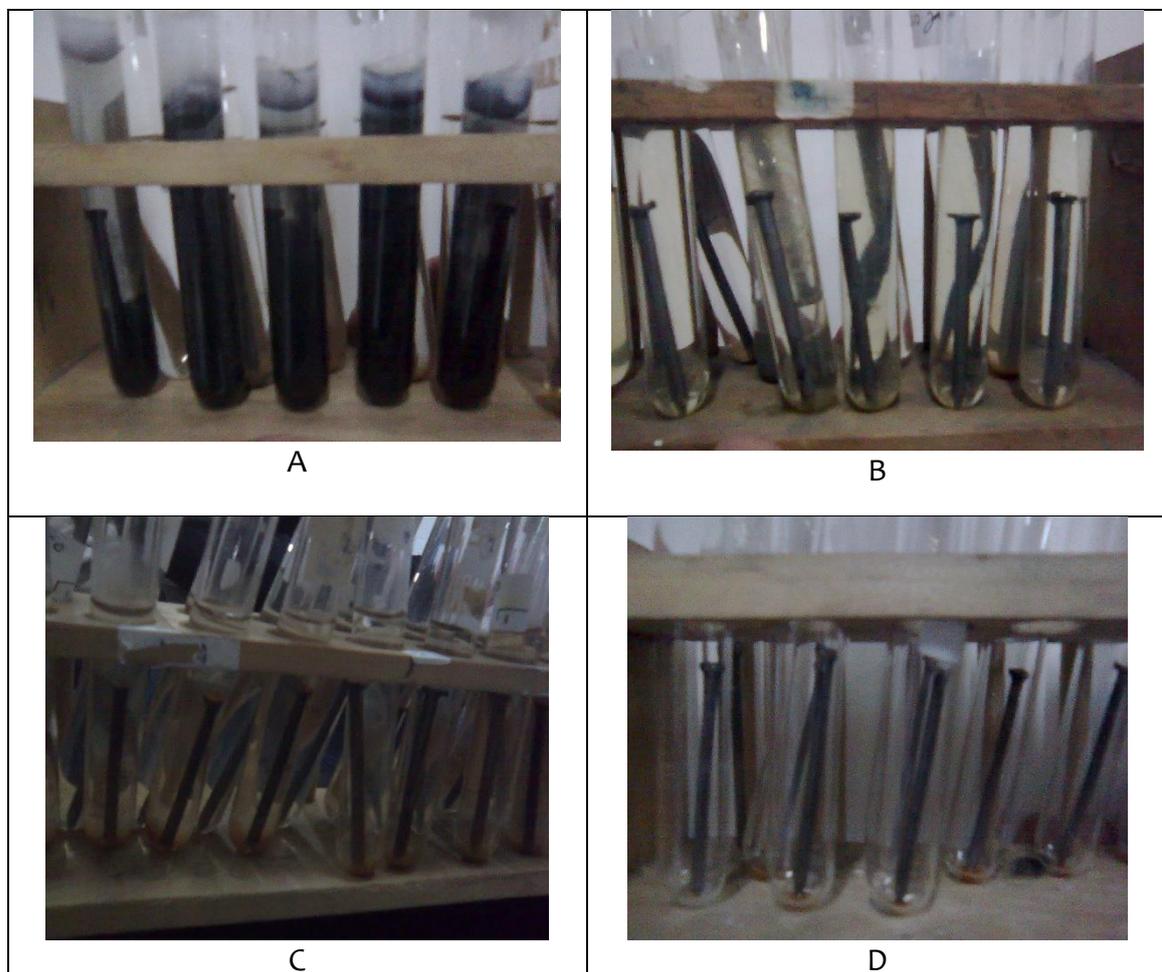
Sulphate Reducing Bacteria (SRB) didapatkan dengan cara mensterilkan lingkungan luar dari udara bebas. Hal ini sesuai dengan sifatnya yang anaerob obligat, sehingga mutlak harus tidak ada udara bebas. Meskipun Bunker (1939) menyatakan bahwa *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dapat aktif di daerah sangat terbatas oksigen atau kekurangan oksigen di dekat daerah pasokan oksigen berlimpah. Sifatnya yang anaerob, *Sulphate*

Reducing Bacteria (SRB) aktif terutama di dalam tanah. Meskipun demikian dalam lingkungan yang mengandung oksigen, dapat pula terbentuk kondisi anaerob yaitu pada bagian yang terletak di bawah endapan-endapan yang terjadi. Oleh karenanya, korosi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) juga dapat terjadi pada alat-alat yang berhubungan dengan udara, air ataupun cairan yang lain (Indra, 2002).

Penumbuhan strain murni aerobik di dangkal (1 cm) lapisan menengah dengan menambahkan asam askorbat 0,025 % (Kligler dan Guggenheim, 1938). Sebagian besar tanah diinkubasi dengan media tertentu untuk mendapatkan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dan bahkan tidak ada tindakan untuk membuat lingkungan anaerobik, mungkin karena organisme aerobik juga hadir deoxygenate medium. Namun demikian, pertumbuhan yang jauh lebih baik apabila oksigen atau udara bebas ditiadakan dan pilihan teknik anaerobik yang efisien dan nyaman yang paling penting.

2. Perbedaan berbagai perlakuan terhadap paku besi

Hasil penelitian dari berbagai perlakuan terhadap paku besi tampak jelas adanya perbedaan. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Perbedaan 4 perlakuan terhadap paku besi

Keterangan:

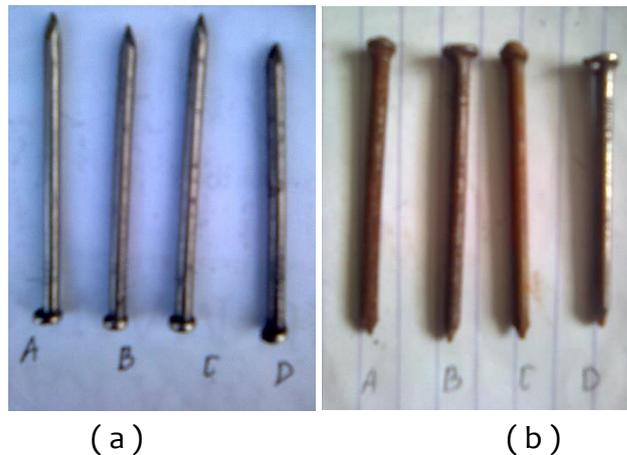
- A = Paku dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi Medium Sharpley yang sudah ditumbuhkan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB)
- B = Paku dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi Medium Sharpley

- C = Paku dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi aquades
- D = Paku dimasukkan dalam tabung reaksi kosong (udara)



Gambar 6. Kontrol perlakuan

Berdasarkan Gambar 6 sangat nampak perbedaan warna zat cair yang digunakan untuk merendam paku besi. Perbedaan yang lain juga dapat dilihat dari morfologi paku besi setelah diambil kadar airnya dengan menggunakan desikator. Permukaan fisik dari paku setelah diberikan perlakuan ada perbedaan yang sangat mencolok. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Perbedaan permukaan paku besi sebelum dan sesudah perlakuan

Keterangan:

- a = Gambar paku sebelum perlakuan
- b = Gambar paku sesudah perlakuan
- A = Paku dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi Medium Sharpley yang sudah ditumbuhkan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB)
- B = Paku dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi Medium Sharpley
- C = Paku dimasukkan dalam tabung yang berisi aquades dan udara
- D = Paku dimasukkan dalam tabung yang kosong (berisi udara)

Perbedaan permukaan paku dapat terlihat jelas adanya setelah perlakuan. Hal ini dapat dilihat pada paku A yang nampak hitam sesuai dengan karakteristik dari *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) yaitu berwarna hitam sehingga memberi warna paku besi tersebut. Paku B nampak hitam tetapi tidak begitu hitam, hal ini dapat diindikasikan karena sifat dari medium sharpley sebagai medium tumbuh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB). Paku C nampak berwarna merah bata, hal ini ditimbulkan oleh oksidasi yang dilakukan air. Paku D nampak seperti paku tidak berkarat, hal ini karena hanya udara saja yang kontak dengan paku sehingga tidak nampak terjadi korosi yang signifikan.

3. Data Hasil Perhitungan Laju Korosi

Hasil yang didapatkan dari penelitian korosi besi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Penimbangan Berat Awal Paku Besi

Perlakuan	Pengulangan	Berat besi (gram) dengan berbagai waktu inkubasi				
		48 jam	72 jam	96 jam	120 jam	144 jam
A (Sharpley + Shulphate Reducing Bakteria + Paku Besi)	1	2,842	2,854	2,702	2,795	2,483
	2	2,649	2,705	2,931	2,850	2,850
	3	2,850	2,837	2,715	2,782	2,777
	Jumlah (Σ)	8,341	8,396	8,348	8,427	8,110
	Rata-rata	2,780	2,799	2,783	2,809	2,703
B (Sharpley + Paku Besi)	1	2,935	2,759	2,523	2,981	2,708
	2	2,708	2,686	2,686	2,833	2,735
	3	2,645	2,766	2,597	2,851	2,648
	Jumlah (Σ)	8,288	8,211	7,806	8,665	8,091
	Rata-rata	2,763	2,737	2,602	2,888	2,697
C (Aquadest + Paku Besi)	1	2,693	2,894	2,758	2,964	2,930
	2	2,889	2,869	2,658	2,858	2,530
	3	2,830	2,461	2,775	2,426	2,835
	Jumlah (Σ)	8,412	8,224	8,191	8,248	8,295
	Rata-rata	2,804	2,741	2,730	2,749	2,765
D (Udara + Paku Besi)	1	2,831	2,776	2,908	2,539	2,844
	2	2,601	2,699	2,766	2,684	2,842
	3	2,780	2,944	2,698	2,813	2,644
	Jumlah (Σ)	8,212	8,419	8,372	8,036	8,330
	Rata-rata	2,737	2,806	2,791	2,679	2,777

Tabel 2. Hasil Penimbangan Berat Akhir Paku Besi

Perlakuan	Pengulangan	Berat besi (gram) dengan berbagai waktu inkubasi				
		48 jam	72 jam	96 jam	120 jam	144 jam
A (Sharpley + Shulphate Reducing Bakteria + Paku Besi)	1	2,832	2,840	2,688	2,780	2,465
	2	2,638	2,692	2,916	2,832	2,834
	3	2,841	2,826	2,702	2,769	2,760
	Jumlah (Σ)	8,311	8,358	8,306	8,381	8,059
	Rata-rata	2,770	2,786	2,769	2,794	2,686
B (Sharpley + Paku Besi)	1	2,933	2,757	2,521	2,979	2,706
	2	2,707	2,685	2,683	2,831	2,733
	3	2,643	2,764	2,596	2,849	2,645
	Jumlah (Σ)	8,283	8,206	7,800	8,659	8,084
	Rata-rata	2,761	2,735	2,600	2,886	2,695
C (Aquadest + Paku Besi)	1	2,690	2,890	2,750	2,956	2,922
	2	2,878	2,858	2,648	2,844	2,515
	3	2,825	2,453	2,769	2,419	2,826
	Jumlah (Σ)	8,393	8,201	8,167	8,219	8,263
	Rata-rata	2,798	2,734	2,722	2,740	2,754
D (Udara + Paku Besi)	1	2,831	2,775	2,908	2,538	2,842
	2	2,601	2,697	2,763	2,682	2,840
	3	2,779	2,943	2,698	2,812	2,643
	Jumlah (Σ)	8,211	8,415	8,369	8,032	8,325
	Rata-rata	2,737	2,805	2,790	2,677	2,775

Tabel 3. Selisih Berat (Kehilangan Berat/weight loss) Paku Besi

Perlakuan	Pengulangan	Kehilangan berat besi (gram) dengan berbagai waktu inkubasi				
		48 jam	72 jam	96 jam	120 jam	144 jam
A (Sharpley + Shulphate Reducing Bakteria + Paku Besi)	1	0,010	0,014	0,014	0,015	0,018
	2	0,011	0,013	0,015	0,018	0,016
	3	0,009	0,011	0,013	0,013	0,017
	Jumlah (Σ)	0,030	0,038	0,042	0,046	0,051
	Rata-rata	0,010	0,013	0,014	0,015	0,017
B (Sharpley + Paku Besi)	1	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	2	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002
	3	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003
	Jumlah	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007

	(Σ)					
	Rata-rata	0,0017	0,0017	0,002	0,002	0,0023
C (Aquadest + Paku Besi)	1	0,003	0,004	0,008	0,008	0,008
	2	0,011	0,011	0,010	0,014	0,015
	3	0,005	0,008	0,006	0,007	0,009
	Jumlah (Σ)	0,019	0,023	0,024	0,029	0,032
	Rata-rata	0,006	0,007	0,008	0,0097	0,0107
	3	7				
D (Udara + Paku Besi)	1	0	0,001	0	0,001	0,002
	2	0	0,002	0,003	0,002	0,002
	3	0,001	0,001	0	0,001	0,001
	Jumlah (Σ)	0,001	0,004	0,003	0,004	0,005
	Rata-rata	0,000	0,0013	0,001	0,0013	0,0017
	3					

4. Perhitungan Laju Korosi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) Lumpur Lapindo, Medium Bakteri, Air, dan Udara

Laju korosi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), medium bakteri, air, dan udara dihitung dengan cara menghitung selisih (kehilangan berat/weight lose) antara berat paku besi sebelum perlakuan dan berat paku besi sesudah perlakuan. Paku besi sebelum perlakuan lebih berat daripada berat paku besi sesudah perlakuan. Penghitungan berat paku besi sesudah perlakuan dilakukan dengan cara paku besi diambil dari medium sesuai dengan lamanya waktu perendaman dengan medium tersebut, kemudian dihilangkan kandungan kadar airnya dengan menggunakan desikator (24 jam lamanya pengeringan). Setelah itu dilakukan penimbangan dan hasil yang didapatkan adalah berat paku besi setelah perlakuan lebih kecil daripada sebelum perlakuan. Rumus yang digunakan dalam perhitungan tersebut adalah:

$$CPR = \frac{KxW}{DxAxT} \text{ mm/tahun} \quad (\text{Fontana, 1987}).$$

$$W = W_0 - W_a$$

Keterangan:

CPR = Corrosion Penetrating Rate (laju korosi)... (mm/tahun)

W = Kehilangan berat / weight loss..... (mg)

W₀ = Berat awal.....(mg)

W_a = Berat akhir.....(mg)

D = Densitas / rapatan benda uji(g/cm³)

T = Lama korosi(jam)

A = Luas permukaan benda uji(cm²)

K = Konstanta.....(8,76 x 10⁴ mm/tahun)

Perhitungan laju korosi dan perhitungannya adalah sebagai berikut :

a) Berat awal besi (W₀) dan berat akhir (W_a)

Sampel 1 perlakuan A paku besi mempunyai berat awal (W_0) sebesar 2,842 gram dan berat akhir (W_a) setelah diberikan perlakuan adalah 2,832 gram. Jadi, didapatkan kehilangan berat (W) sebesar 0,010 gram.

- b) Konstanta laju korosi dalam milimeter pertahun adalah $8,76 \times 10^4$.
- c) Densitas atau massa jenis atau kerapatan (D) untuk sampel paku dihitung dengan cara menghitung masing-masing massa jenis paku dengan alat yang bernama Aerometer Tralles. Prinsip kerja alat ini adalah menggunakan hukum Archimedes yaitu menyatakan bahwa bila suatu benda dimasukkan dalam zat cair, maka benda tersebut akan mendapat tekanan ke atas sebesar zat cair yang dipindahkan oleh benda tadi. Atas dasar ini benda yang ringan akan mengapung karena hanya mampu memindahkan sedikit volume air sedangkan benda yang massanya besar akan tenggelam karena mampu memindahkan lebih banyak air. Rumus yang digunakan untuk menghitung massa jenis paku yaitu:

$$Pb = \frac{mb}{mx} pa$$

Keterangan:

Pb = massa jenis benda..... (g/cm^3)

mb = massa benda..... (gram)

mx = masa benda tambahan..... (gram)

Pa = massa jenis absolut air..... ($0,996512 g/cm^3$)

(Toifur,dkk. , 2010).

Berdasarkan persamaan rumus tersebut terlihat bahwa massa beban tambahan tidak lain adalah massa air yang dipindahkan. Oleh karena itu, volume air yang dipindahkan sama dengan massa volume benda.

Perhitungan berat paku pada perlakuan A sampel 1

massa benda (mb) = 2,842 gram

massa tambahan (mx) = 1,235 gram

$$\begin{aligned} Pb &= \frac{mb}{mx} pa \\ &= \frac{2,842}{1,235} \times 0,996512 \\ &= 2,29318794 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

- d) Lama waktu korosi (T) dilakukan selama 24 jam secara periodik (waktu inkubasi).

- e) Luas permukaan benda uji (A):

Menghitung luas permukaan paku meliputi 3 bagian:

- a) Luas bagian ujung paku dihitung dengan rumus luas selimut kerucut.

$$\text{Luas selimut kerucut} = \pi \times r \times s$$

Keterangan:

π = konstanta dengan nilai 3,14

r = jari-jari kerucut paku..... (mm)

s = sisi bagian ujung (kerucut) paku..... (mm) (Agus, 2008).

sehingga pada sampel 1 didapatkan luas kerucut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas selimut kerucut} &= 3,14 \times 1,53 \times 2,06 \\ &= 9,896652 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b) Luas bagian tengah paku besi dihitung dengan rumus luas tabung

$$\text{Luas selimut tabung} = 2 \pi \times r \times t$$

Keterangan:

π = konstanta dengan nilai 3,14

r = jari-jari tabung paku.....(mm)

t = tinggi paku..... (mm) (Agus, 2008).

sehingga pada sampel 1 didapatkan luas bagian tengah paku adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas selimut tabung} &= 2 \times 3,14 \times 1,53 \times 49 \\ &= 470,8116 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c) Luas bagian bawah paku dihitung dengan rumus luas lingkaran

$$\text{Luas lingkaran} = \pi \times r^2$$

Keterangan:

π = konstanta dengan nilai 3,14

r = jari-jari lingkaran paku..... (mm) (Agus, 2008).

sehingga pada sampel 1 didapatkan luas bagian bawah paku adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas lingkaran} &= 3,14 \times (2,51)^2 \\ &= 19,782314 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi, luas penampang (A) pada spesimen paku adalah jumlah dari luas bagian ujung paku, luas bagian tengah paku dan luas bagian bawah paku.

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang paku (A)} &= \text{luas ujung} + \text{luas tengah} + \text{luas bawah} \\ &= 9,896652 + 470,8116 + 19,782314 \\ &= 500,490566 \text{ mm}^2 \\ &= 5,004906 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan data perhitungan yang tersebut diatas, maka nilai laju korosi besi pada sampel 1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{CPR} &= \frac{KxW}{DxAxT} \text{ mm/tahun} && (\text{Fontana, 1987}). \\ &= \frac{87.600 \times 0,010}{2,29318794 \times 5,004906 \times 24} \text{ mm/tahun} \\ &= 3,180221139 \text{ mm/tahun} \\ &= 3,1802 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil laju korosi besi berbagai perlakuan

Perlakuan	Pengulangan	Berat besi (gram) dengan berbagai waktu inkubasi				
		48 jam	72 jam	96 jam	120 jam	144 jam
A (Sharpley + Sulphate Reducing	1	3.1802	4.5848	4.3728	4.6755	6.0092
	2	3.4694	4.0774	4.9876	5.8822	5.2286
	3	2.9411	3.4913	4.0723	4.0869	5.3054
	Jumlah (Σ)	9.5907	12.1535	13.4327	14.6445	16.5431

Bakteria + Paku Besi)	Rata-rata	3.1969	4.0512	4.4776	4.8815	5.5144
B (Sharpley + Paku Besi)	1	0.6656	0.9056	0.6674	0.6616	0.6279
	2	0.3145	0.3100	0.9299	0.6602	0.6260
	3	0.6312	0.6225	0.3238	0.6544	0.9449
	Jumlah (Σ)	1.6113	1.8380	1.9210	1.9762	2.1988
	Rata-rata	0.5371	0.6127	0.6403	0.6587	0.7329
C (Aquadest + Paku Besi)	1	0.9590	1.3936	3.6322	2.6639	2.6590
	2	3.5713	3.5870	3.1540	4.5678	4.9906
	3	1.5887	2.6877	1.8722	2.3816	2.8612
	Jumlah (Σ)	6.1190	7.6682	8.6585	9.6132	10.5109
	Rata-rata	2.0397	2.5561	2.8862	3.2044	3.5036
D (Udara + Paku Besi)	1	0	0.3127	0	0.3315	0.6366
	2	0	0.6224	0.9337	0.6198	0.6360
	3	0.3112	0.3316	0	0.3195	0.2965
	Jumlah (Σ)	0.3112	1.2668	0.9337	1.2708	1.5692
	Rata-rata	0.1037	0.4223	0.3112	0.4236	0.5231

Tabel 5. Rata-rata kehilangan berat dan laju korosi paku besi dengan inokulasi *Shulphate Reducing Bakteria* pada medium sharpley

Waktu inkubasi (jam)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Kehilangan berat (gram)	Laju korosi (mm/tahun)
48	2,780	2,770	0,010	3,1969
72	2,799	2,786	0,013	4,0512
96	2,783	2,769	0,014	4,4776
120	2,809	2,794	0,015	4,8815
144	2,703	2,686	0,017	5,5144

Tabel 6. Rata-rata kehilangan berat dan laju korosi paku besi dengan perendaman pada medium sharpley

Waktu inkubasi (jam)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Kehilangan berat (gram)	Laju korosi (mm/tahun)
48	2,763	2,7613	0,0017	0,5371
72	2,737	2,7353	0,0017	0,6127
96	2,602	2,600	0,002	0,6403
120	2,888	2,886	0,002	0,6587
144	2,697	2,6947	0,0023	0,7329

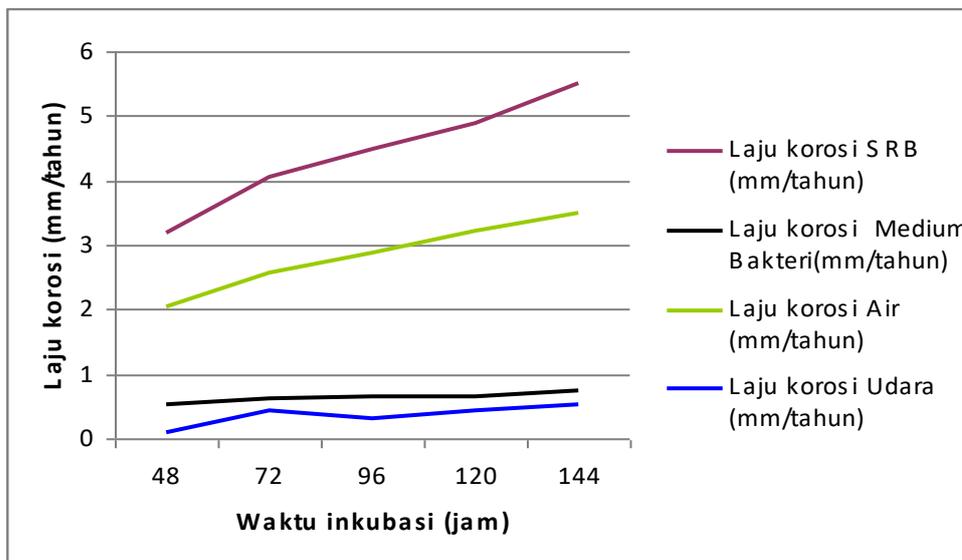
Tabel 7. Rata-rata kehilangan berat dan laju korosi paku besi dengan perendaman pada aquades

Waktu inkubasi (jam)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Kehilangan berat (gram)	Laju korosi (mm/tahun)
48	2,804	2,7977	0,0063	2,0397
72	2,741	2,7333	0,0077	2,5561
96	2,730	2,722	0,008	2,8862
120	2,749	2,7393	0,0097	3,2044
144	2,765	2,7543	0,0107	3,5036

Tabel 8. Rata-rata kehilangan berat dan laju korosi paku besi pada udara

Waktu inkubasi (jam)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Kehilangan berat (gram)	Laju korosi (mm/tahun)
48	2,737	2,7367	0,0003	0,1037
72	2,806	2,8047	0,0013	0,4223
96	2,791	2,790	0,001	0,3112
120	2,679	2,6777	0,0013	0,4236
144	2,777	2,7753	0,0017	0,5231

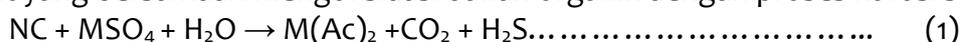
Berdasarkan Tabel rata-rata laju korosi tersebut (Tabel 5 - Tabel 8), maka dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik perbedaan laju korosi paku besi dengan berbagai macam perlakuan

Laju korosi dari keempat perlakuan tersebut mempunyai perbedaan. Hal itu dapat dilihat dari Gambar 8 yang menunjukkan laju korosi pada waktu inkubasi 48 jam- 144 jam. Laju korosi tertinggi terdapat pada perlakuan A yaitu perlakuan paku besi yang ditambahkan dengan inokulasi *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) sebesar 3,197-5,514 mm/tahun. Laju korosi yang kedua setelah *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) adalah perlakuan C yaitu perlakuan paku besi yang diirendam dalam aquades (air) sebesar 2,040-3,504 mm/tahun. Kemudian yang ketiga adalah perlakuan B yaitu perlakuan dengan paku

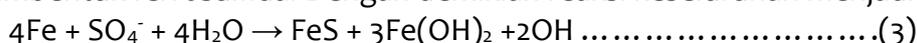
direndam dalam medium sharpley (medium cair) mempunyai laju korosi 0,537-0,733 mm/tahun. Laju korosi yang paling rendah adalah perlakuan D yaitu perlakuan dengan cara meletakkan paku besi dalam tabung reaksi yang kosong (berisi udara) mempunyai laju korosi sebesar 0,104-0,523 mm/tahun. Hasil tersebut menunjukkan lebih tingginya sifat korosif yang ditimbulkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dibandingkan dengan sifat korosif yang ditimbulkan oleh aquades (air), medium bakteri (sharpley), dan udara langsung. Hal ini disebabkan karena adanya *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) yang masih aktif dan tumbuh sangat cepat dengan menggunakan nutrisi komposisi pada paku besi sebagai makanannya, sehingga *menyebabkan* terjadinya korosi secara biologis. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Kenneth (1969 dalam Indra (2002) yang menyatakan bahwa *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) merupakan bakteri anaerob yang dapat menimbulkan korosi, yaitu bakteri yang dapat memanfaatkan dan mengubah sulfat menjadi sulfida. *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) memperoleh energi dengan mereduksi sulfat dan pada saat yang bersamaan mengoksidasi bahan organik dengan proses korosi sebagai berikut:



dengan C *adalah* bahan organik dan M adalah logam. Reaksi berjalan melalui hydrogen sulfat oleh enzim hidrogenase.



Pada suasana asam hydrogen yang diperlukan pada polarisasi katoda dapat digunakan untuk reaksi (2) sehingga terjadi proses dipolarisasi katode dan menyebabkan lebih banyak besi terlarut. Gas hydrogen sulfida yang menimbulkan korosif akan diperberat pada lingkungan yang mempunyai pH rendah, akibatnya akan terjadi reaksi dengan besi membentuk ferrosulfida. Dengan demikian reaksi keseluruhan menjadi sebagai berikut:



Ferrosulfida dapat dioksidasi menjadi ion ferri, dan belerang juga dapat dimanfaatkan oleh bakteri pengoksidasi belerang (SOB) sehingga korosi dapat lebih parah lagi.

Untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan macam-macam media terhadap laju korosi, dilakukan uji anova dengan ringkasan sebagai berikut.

Tabel 9. Anava perbedaan antar perlakuan macam-macam media terhadap laju korosi.

Sumber Variasi	Dk	Jk	KT	F hitung	F tabel _(0,05)
Rata-rata	1	45,8790	45,8790		
Waktu	4	42,0467	10,5117		
Laju korosi	3	56,7081	18,9027	356,8723	3,49
Kekeliruan	12	0,6356	0,05297		
Jumlah	20	145,2694			

Berdasarkan Tabel 9 tersebut menunjukkan bahwa F hitung (356,8723) > F tabel (3,49) pada taraf signifikan 5 % yang berarti bahwa perlakuan dengan berbagai media *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), medium bakteri, air, dan udara, menunjukkan laju korosi yang berbeda-beda sehingga perlu dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil).

Hasil uji BNT dari berbagai perlakuan terhadap adanya korosi besi adalah sebagai berikut:

Tabel 10. Uji BNT antar perlakuan terhadap laju korosi besi

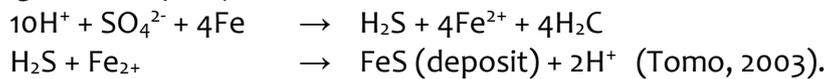
Perlakuan	Rerata Laju Korosi (mm/tahun)	BNT $\alpha_{0,05} = 0,24$
Udara	0,3568	a
Medium Sharpley	0,6364	b
Air	2,8380	c
SRB	4,4243	d

Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata

Berdasarkan Tabel 10 tersebut menunjukkan bahwa semua perlakuan mempunyai laju korosi yang berbeda nyata (perhitungan terdapat pada lampiran 3).

5. Analisa H₂S yang dihasilkan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB)

Sulphate Reducing Bacteria (SRB) merupakan bakteri penghasil H₂S dalam aktifitas hidupnya. Semakin banyak dan aktif bakteri tersebut dapat dilihat dari gas H₂S yang dihasilkan oleh bakteri tersebut. Berikut reaksi yang ditimbulkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB):



(a)

(b)

Gambar 9. Hasil titrasi untuk mengetahui adanya H₂S yang diproduksi *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB)

Keterangan:

(a) = Titer analisis H₂S sebelum dititrasi dengan titran Na₂S₂O₃

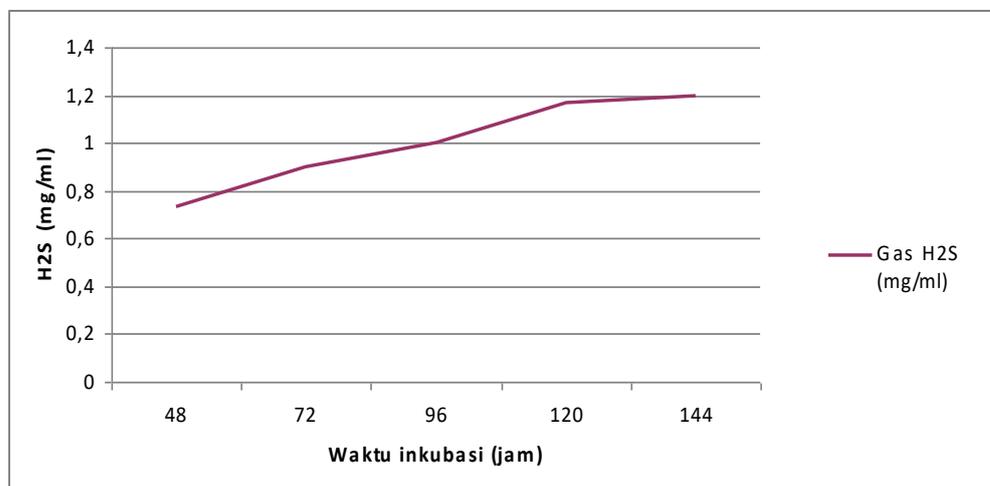
(b) = Titer analisis H₂S setelah dititrasi dengan titran Na₂S₂O₃

Berdasarkan Tabel 11 dan Gambar 10 dapat diidentifikasi bahwa bakteri yang terkandung dalam medium yang diinokulasi *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) masih aktif dan berpotensi menimbulkan sifat korosif. Waktu juga sangat mempengaruhi terhadap banyaknya gas H₂S yang diproduksi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB). Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa semakin banyak H₂S yang dihasilkan, maka semakin banyak pula *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dan hal tersebut menunjukkan keaktifan bakteri dengan sifat korosifnya. Hards and Higgins (2004), menyatakan bahwa dalam aktivitas metabolismenya *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dapat mereduksi sulfat menjadi H₂S.

Tabel 11. Gas H₂S yang dihasilkan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB)

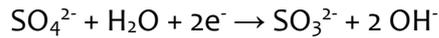
Lama Inkubasi (jam)	Volume Na ₂ S ₂ O ₃ yang dipakai dalam titrasi (Indikator adanya gas H ₂ S) (ml)			Gas H ₂ S (mg/ml)
	Pengulangan ke-			
	I	II	III	
48	0,7	0,7	0,8	0,73
72	0,8	0,9	1,0	0,9
96	0,9	0,9	1,2	1,0
120	1,0	1,2	1,3	1,17
144	1,0	1,3	1,3	1,2

Berdasarkan Tabel 11 tersebut tentang gas H₂S yang dihasilkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), maka dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik gas H₂S yang dihasilkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) sesuai lamanya waktu inkubasi

Berdasarkan hasil penelitian dengan perlakuan 48 jam sampai dengan 144 jam menunjukkan bahwa volume H₂S berbanding lurus dengan waktu. yang berarti bahwa semakin lama inkubasi, maka volume H₂S juga semakin meningkat. Tetapi, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suhartanti (1985), menunjukkan bahwa kenaikan volume H₂S hanya sampai waktu inkubasi 240 jam (10 hari) karena setelah 240 jam H₂S yang dihasilkan akan menghambat pertumbuhan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), sehingga volume H₂S juga tidak bertambah. Penurunan volume H₂S dapat disebabkan karena adanya penurunan konsentrasi sulfat pada perlakuan yang ditumbuhkan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB). Higgins (2003) dalam Widyati (2006) menyatakan bahwa penurunan konsentrasi sulfat dikarenakan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron untuk aktivitas metabolismenya, karena sulfat menerima elektron maka senyawa ini akan mengalami reduksi menjadi sulfida sehingga konsentrasi sulfat dalam kultur tersebut mengalami penurunan. Pada kondisi anaerob bahan organik akan berperan sebagai donor elektron (Groudev *et al.*, 2001). Ketika sulfat menerima elektron dari bahan organik maka akan mengalami reduksi membentuk senyawa sulfida seperti yang digambarkan oleh Foth (1990) dalam persamaan reaksi sebagai berikut:



Untuk mengetahui gas H₂S yang diproduksi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) dengan perbedaan waktu inkubasi, dilakukan uji anava dengan ringkasan sebagai berikut (perhitungan terdapat pada lampiran 2).

Tabel 12. Anava Produksi H₂S oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB)

Sumber variasi	DB	JK	KT	F hitung	F tabel _(0,05)
Antar perlakuan	4	0,447	0,11175	279,38	3,48
Dalam perlakuan	10	0,004	0,0004		
Total	14	0,451	0,11215		

Berdasarkan Tabel 12 tersebut menunjukkan bahwa F hitung (279,38) > F tabel (3,48) pada taraf signifikan 5 % yang berarti bahwa perbedaan waktu inkubasi menghasilkan jumlah H₂S yang berbeda pula, sehingga untuk mengetahui perlakuan yang berbeda nyata dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil).

Hasil uji BNT dari rerata jumlah produksi H₂S oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) adalah sebagai berikut:

Tabel 13. Uji BNT dari rerata jumlah produksi H₂S oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB)

Perlakuan	Rerata jumlah produksi H ₂ S oleh <i>Sulphate Reducing Bacteria</i> (SRB)	BNT _{0,05} = 0,026
48	0,73	a
72	0,9	b
96	1	c
120	3,5	d
144	3,6	e

Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata

Berdasarkan Tabel 13 tersebut menunjukkan bahwa waktu inkubasi yang berbeda menghasilkan volume gas H₂S yang berbeda pula.

E. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perlakuan dengan menggunakan *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB), medium bakteri, aquades, dan udara berpengaruh terhadap korosi besi, yang dibuktikan berkurangnya berat paku besi.
2. *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) mempunyai laju korosi 3,1969-5,5144 mm/tahun. Perlakuan medium bakteri mempunyai laju korosi 0,5371-0,7329 mm/tahun. Perlakuan dengan air (aquades) mempunyai laju korosi 2,0397-3,5036 mm/tahun. Perlakuan dengan udara mempunyai laju korosi 0,1037-0,5231 mm/tahun. Dari keempat perlakuan tersebut, *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) mempunyai pengaruh yang lebih besar diantara perlakuan lainnya berdasarkan laju korosi yang dihasilkannya.
3. Volume gas H₂S yang dihasilkan oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) lumpur lapindo pada proses biokorosi yaitu perlakuan dengan waktu inkubasi 48 jam menghasilkan gas H₂S sebesar 0,73 mg/ml, perlakuan dengan waktu inkubasi 72 jam menghasilkan gas H₂S sebesar 0,9 mg/ml, perlakuan dengan waktu inkubasi 96 jam menghasilkan

gas H₂S sebesar 1,0 mg/ml, perlakuan dengan waktu inkubasi 120 jam menghasilkan gas H₂S sebesar 1,17 mg/ml, dan perlakuan dengan waktu inkubasi 144 jam menghasilkan gas H₂S sebesar 1,2 mg/ml.

4. Hasil penelitian tentang Korosi Besi oleh *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) Hasil Isolasi Lumpur Lapindo dapat digunakan Sebagai Sumber Belajar Siswa SMA Kelas X Pada Materi Pembelajaran Mikroorganisme dalam bentuk media power point.

Referensi

- Agus, Nuniek Avianti. 2008. *Mudah Belajar Matematika 3: untuk Kelas IX Sekolah Menengah Pertama/Madrasah Tsanawiyah*. Jakarta: Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Akhadi, Mukhlis. 2000. *Korosi Pada Peralatan Elektronik*. <http://www.elektroindonesia.com/elektro/index.html>. download 29 Oktober 2009.
- Anonim. 2008. *Lumpur Lapindo Mengandung Logam Berat*. <http://berantaslupindo.wordpress.com/2008/05/21/lumpur-lapindo-mengandung-logam-berat/> di download 5 Nopember 2009
- _____.^a. 2009. *Korosi*. http://kimia.upi.edu/utama/bahanajar/kuliah_web/2008/index.htm. download 29 Oktober 2009.
- _____.^b. 2009. *Karakteristik Mata Pelajaran Biologi*. <http://kiatku06-artikel.blogspot.com/2009/04/karakteristik-mata-pelajaran-biologi.html>. di download 5 Nopember 2009
- Butlin, K. R., Mary E. Adam, dan Margareth Thomas. 1948. *The Isolation and Cultivation of Sulphate-Reducing Bacteria*. Chemical Research Laboratory, Department of Scientific and Industrial Research, Teddington, Middlesex.
- Davidciglar. 2005. *Karat*. <http://www.earticlesonline.com/> download 29 Oktober 2009.
- Dimiyati, Mudjiono. 2002. *Belajar dan Pembelajaran*. Rineka Cipta: Jakarta.
- Fontana, Mars G. 1986. *Corrosion Engineering*. New York : Mc Graw-Hill.
- Foth, H.D. 1990. *Fundamentals of Soil Science*. 8th ed. New York: John Willey&son.
- Groudev, S.N., K. Komnitsas, I.I. Spasova and I. Paspaliaris. 2001. Treatment of AMD by a natural wetland. *Minerals Engineering* 12: 261-270.
- Hards, B.C. and J.P. Higgins. 2004. *Bioremediation of Acid Rock Drainage Using SRB*. Jacques Whit Environment Limited. Ontario.
- Indra. 2002. *Birokrasi Pada Tangki Penimbun Bahan Bakar Minyak*. Universitas Sumatera Utara: Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin.
- Mawuntyas, Dini. 2006. *Bakteri untuk Porong*. <http://www.tempointeraktif.com/> didownload 5 Nopember 2009.
- Mulyasa, E. 2004. *Kurikulum Berbasis Kompetensi*. PT. Remaja Rosdakarya: Bandung.
- Pradikha, E.I. 2008. *Isolasi Mikroorganisme*. <http://ekmon-saurus.blogspot.com/> download 29 Oktober 2009.

- Prihasa, Novan. 2009. *Korosi pada Beton*. <http://wordpress.com/> download 29 Oktober 2009.
- Priyotomo, Dadang dan Teguh. 2007. *Degradasi Fungsi Sistem Industri Akibat Korosi Mikrobiologi*. Puslit Metalurgi LIPI Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang. download 29 Oktober 2009.
- Sudjana. 2002. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Penerbit Tarsito.
- Suhartanti, Dwi. 1985. *Korosi Baja Dalam Beberapa Medium*. Yogyakarta: Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada.
- Suhartanti, Dwi. 2006. *Laju Korosi Baja Oleh Desulfomikrobium bakulatum dan Desulfomonas pigra*. Yogyakarta: Program Studi Biologi FMIPA Universitas Ahmad Dahlan.
- Susilo, Muh. Joko ^a. 2006. *Bekal Bagi Calon Guru Belajar dan Mengajar*. Yogyakarta: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Ahmad Dahlan.
- _____ ^b. *Dasar-Dasar dan Proses Pembelajaran*. Yogyakarta: LP2I Press.
- Syaifudin, M. Aris. 2008. *Peranan Bakteri dalam Kehidupan Manusia*. <http://arissyaifuddin.blogspot.com/2009/03/peranan-bakteri-dalam-kehidupan-manusia.html>. didownload 5 Nopember 2009
- Tim Laboratorium FKM UAD. 2009. *Petunjuk Praktikum Mikrobiologi Semester II*. Yogyakarta: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan.
- Toifur, Moh., Nanang S., dan Edi S. 2010. *Petunjuk Praktikum Fisika Dasar 2*. Yogyakarta: Laboratorium Ilmu Alam Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta 2009/2010.
- Tomo, Yuda. 2003. *Proses H₂S*. List Migas Indonesia.
- Wibisono, Yusuf. 2006. *Tragedi Lumpur Lapindo*. <http://agorsiloku.wordpress.com/2006/10/11/tragedi-lumpur-lapindo/> didownload 5 Nopember 2009
- Widyati, E. 2006. *Bioremediasi Tanah Bekas tambang Batubara dengan Sludge Industri Kertas untuk Memacu Revegetasi Lahan*. Disertasi Doktor. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Widyati, Enny. 2007. *The use of sulphate-reducing bacteria in bioremediation of ex-coal mining soil*. Biodiversitas. Volume 8, Nomor 4. Halaman: 283-286.