

Pemanfaatan Bakteri Indigenus dalam Reduksi Logam Berat Cu pada Limbah Cair Proses *Etching Printed Circuit Board* (PCB)

Utilization of Indigenous Bacteria in the Reduction of Copper Heavy Metal on Liquid Wastes Etching Process Printed Circuit Board (PCB)

Pascaliala Shendy Anggriany^{1*}, A. Wibowo Nugroho Jati¹, L. Indah Murwani¹

¹Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta

Email: pascalialashendy21@gmail.com *Penulis untuk korespondensi

Abstract

Waste from the etching process of the resulting PCB is toxic because it has a very low pH and high Cu heavy metal content. The negative impact of PCB etching waste is that it can eliminate soil fertility, damage soil nutrition and contaminate water, and poison the living creatures around. Biological methods have advantages that are safe to use, do not cause environmental damage, and can reduce waste permanently. Bioremediation of waste etching PCB process is carried out in an activated sludge system. The source of active sludge comes from a wetland that is rich in a mass of microorganisms. This study aimed to determine the effectiveness of biological waste processing in reducing waste toxicity, including pH and heavy metal content of Cu, and knowing bacterial isolates that can improve the quality of liquid waste PCB etching process. The stages of this research included incubation of waste for 7 days in activated sludge system with addition treatment of PCB etching waste with concentration of Cu 50 ppm, 150 ppm, 250 ppm and 350 ppm, parameter measurements on days 0 and 7, bacterial isolation, and data analysis using software SPSS ver 15. Parameter measured was heavy metal content of Cu, pH, TSS, BOD and COD. Measurement of Cu heavy metal was carried out using direct Lovibond spectrophotometer. After 7 days of incubation period, heavy metal content of Cu, COD, BOD and TSS decreased and pH increased. Treatment A (50 ppm) experienced the highest decrease in Cu content of 93.18%, followed by treatment B (150 ppm) with a decrease of 81.94%, treatment D (350 ppm) with a decrease of 31.57% and treatment C (250 ppm) with a decrease of 18.09%. There were three indigenous bacteria isolated from bacteria, namely bacterial isolates X, Y and Z. The results of bacterial characterization showed that isolates X, Y, and Z had circular colonies, entire colony edges, Gram negative, motile, positive catalase and positive indole.

Keywords: Printed Circuit Board, bioremediation, indigenous bacteria, Cu metal

Abstrak

Limbah dari proses *etching* PCB yang dihasilkan bersifat toksik karena memiliki pH yang sangat rendah dan kandungan logam berat Cu yang tinggi. Dampak negatif dari limbah *etching* PCB ini yaitu dapat menghilangkan kesuburan tanah, merusak nutrisi tanah dan mencemari air, serta meracuni makhluk hidup sekitar. Dalam penelitian ini, metode biologi digunakan untuk melakukan remediasi limbah proses *etching* PCB. Bioremediasi limbah proses *etching* PCB ini dilakukan dalam sistem lumpur aktif. Sumber lumpur aktif berasal dari tanah sawah yang kaya akan massa mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan mengetahui efektifitas pengolahan limbah secara biologi dalam mengurangi toksisitas limbah, meliputi pH dan kandungan logam berat Cu, serta mengetahui isolat bakteri yang dapat memperbaiki kualitas limbah cair proses *etching* PCB. Tahapan penelitian ini meliputi inkubasi limbah selama 7 hari dalam sistem lumpur aktif dengan perlakuan penambahan limbah *etching* PCB dengan konsentrasi logam Cu 50 ppm, 150 ppm, 250 ppm dan 350 ppm, pengukuran parameter pada hari ke-0 dan ke-7, isolasi bakteri, serta analisis data menggunakan *software* SPSS ver 15. Parameter yang diukur adalah kandungan logam berat Cu, pH, TSS, BOD dan COD. Pengukuran logam berat Cu dilakukan menggunakan spektrofotometer *direct Lovibond*. Setelah 7 hari masa inkubasi, kandungan logam berat Cu, COD, BOD dan TSS mengalami penurunan serta pH mengalami kenaikan. Perlakuan A (50 ppm) mengalami penurunan kadar logam Cu

yang paling tinggi yaitu sebesar 93,18%, diikuti dengan perlakuan B (150 ppm) dengan penurunan sebesar 81,94%, perlakuan D (350 ppm) dengan penurunan sebesar 31,57% dan perlakuan C (250 ppm) dengan penurunan sebesar 18,09%. Terdapat tiga bakteri indigenus hasil isolasi bakteri yaitu isolat bakteri X, Y dan Z. Hasil karakterisasi bakteri menunjukkan bahwa isolat X, Y, dan Z memiliki bentuk koloni *circular*, tepi koloni *entire*, Gram negatif, motil, katalase positif dan indol positif.

Kata kunci: *Printed Circuit Board*, bioremediasi, bakteri indigenus, logam Cu

Diterima: 28 Mei 2018, disetujui: 15 Juni 2018

Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini telah meningkat secara pesat. Komponen-komponen elektronika (kapasitor, resistor dan transistor) banyak digunakan untuk membuat produk elektronik seperti komputer, radio, televisi, rangkaian lampu dan lain sebagainya. Produk elektronik dibuat dengan cara komponen-komponen elektronika dirangkai dan digabungkan menjadi satu dalam papan rangkai elektronika atau papan PCB (*Printing circuit board*). Papan PCB terbuat dari lempeng fiber yang telah dilapisi oleh tembaga di seluruh permukaannya (Castro dan Martins, 2009).

Salah satu tahap pembuatan papan PCB adalah proses *etching*. *Etching* merupakan tahap pengelupasan atau pengikisan lapisan tembaga (Cu) pada permukaan papan PCB yang sudah tidak diperlukan. Proses *etching* ini akan menghasilkan sejumlah limbah cair yang bersifat asam dan tergolong dalam karakteristik B3, mengingat terdapat logam berat tembaga (Cu) di dalam limbah. Industri elektronika skala IKM (Industri Kecil dan Menengah) biasanya menggunakan 1-15 lembar papan per harinya dengan jumlah limbah cair yang dilepaskan berkisar 20 hingga 50 liter per hari (Cahyono dan Nurul, 2014).

Bioremediasi adalah salah satu cara pengolahan limbah dengan metode biologi yang efisien dan efektif. Bakteri indigenus yang merupakan bakteri alami dalam limbah itu sendiri merupakan agen biologi yang dapat digunakan dalam bioremediasi (Munawar dkk., 2006). Bakteri mempunyai kemampuan adaptasi yang tinggi sehingga memungkinkan untuk dapat tumbuh dalam substrat dan lingkungan yang sangat tidak menguntungkan untuk pertumbuhannya. Hal ini membuka peluang besar untuk menggunakan bakteri sebagai salah

satu mikroorganisme untuk bioremediasi lingkungan yang telah tercemar. Salah satu metode bioremediasi yang menggunakan bakteri adalah metode lumpur aktif.

Lumpur aktif dibuat menggunakan tanah sawah sebagai sumber massa mikrobia. Pengolahan limbah proses *etching* PCB dengan memanfaatkan bakteri indigenus dalam sistem lumpur aktif ini diharapkan dapat menurunkan substrat-substrat berbahaya tertentu yang terkandung dalam air limbah. Cairan sisa *etching* diambil dari beberapa sumber yaitu Laboratorium Kelompok Studi Robotik (KSR) Fakultas Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan toko komponen elektronik X yang juga berada di Yogyakarta.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental selama 4 bulan yaitu pada bulan Februari hingga Mei 2018 di Laboratorium Teknobiologi-Lingkungan serta Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Fakultas Teknobiologi Universitas Atmajaya Yogyakarta. Limbah cair proses *etching* PCB diambil dari toko elektronik X dan laboratorium Kelompok Studi Robotik (KSR) Fakultas Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pengujian logam berat Cu (tembaga) dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan pengujian kandungan COD serta TSS dilakukan di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta.

Beberapa tahapan dalam penelitian ini yaitu pengambilan sampel limbah cair, pembuatan bioreaktor lumpur aktif dengan 4 perlakuan yaitu penambahan limbah dengan

konsentrasi Cu 50 ppm, 150 ppm, 250 ppm dan 350 ppm, karakterisasi sampel limbah meliputi pengukuran COD, BOD, pH, TSS, dan konsentrasi logam Cu pada hari ke-0 dan ke-7, karakterisasi isolat bakteri dalam lumpur aktif serta analisis data menggunakan SPSS versi 15 dilanjutkan dengan uji DMRT (Duncan's Multiple Range Test) dengan tingkat kepercayaan 95%. Karakterisasi isolat bakteri meliputi pengamatan morfologi koloni bakteri, pengecatan Gram, uji motilitas, uji katalase, uji sifat biokimia, kemudian hasil pengujian dicocokkan dengan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 7th edition*.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Limbah Cair Proses *Etching* Printed Circuit Board (PCB)

Limbah cair Proses *Etching* PCB dianalisa kandungannya terlebih dahulu sebelum digunakan dalam penelitian. Analisa ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan kualitas limbah sebelum dan setelah diolah dalam proses bioremediasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beberapa parameter pengujian kandungan limbah cair proses *etching* PCB memiliki beban pencemar yang melebihi ambang batas baku mutu air limbah industri elektronika berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014. Parameter kandungan logam berat Cu pada limbah cair proses *etching* PCB sebesar 1,55%

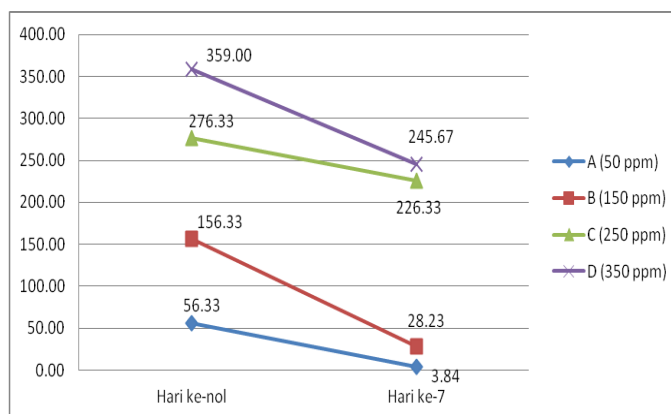
atau 15.500 mg/l dengan baku mutu 0,6 mg/l, TSS sebesar 14,7 mg/l dengan baku mutu sebesar 60 mg/l, pH sebesar 0,91 dengan baku mutu 6-9, COD sebesar 223.333,33 mg/l dengan baku mutu 110 mg/l. Beban pencemar yang sangat besar ini dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan hidup apabila tidak dilakukan pengolahan air limbah terlebih dahulu.

Pengolahan Sistem Lumpur Aktif

Aplikasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pembuatan bioreaktor lumpur aktif yang berisi air limbah dan tanah sawah yang mengandung massa mikrobia. Bioreaktor ditambahkan dengan aerasi yang bertujuan menambah asupan oksigen bagi bakteri selama tujuh hari proses degradasi. Pemberian larutan gula 10% dan urea 10% pada bioreaktor juga dilakukan untuk menambah kandungan nutrisi yang dibutuhkan bakteri dalam melakukan aktivitas degradasi. Menurut Bitton (1994), salah satu keberhasilan aplikasi lumpur aktif adalah terbentuknya flok yang mengendap pada bioreaktor oleh karena aktivitas bakteri. Pada hari ke-7, terbentuk flok-flok yang menempel pada bioreaktor. Flok-flok inilah yang nantinya digunakan untuk isolasi bakteri indigenus yang terdapat di dalam bioreaktor.

Logam Berat Cu

Berdasarkan pengukuran logam Cu yang dilakukan, didapat hasil yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penurunan logam berat Cu pada limbah proses *etching* PCB dengan variasi kadar Cu A (50 ppm), B (150 ppm), C (250 ppm) dan D (350 ppm) dalam sistem lumpur pada hari ke-0 dan ke-7

Berdasarkan pengukuran kandungan logam Cu yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa terjadi penurunan kandungan logam Cu pada hari ke-7 pada keempat perlakuan (A,B,C,D). Pada perlakuan A (50 ppm), kandungan logam Cu hari ke-0 adalah 56,33 ppm, dan pada hari ke-7 mengalami penurunan menjadi 3,84 ppm. Pada perlakuan B (150 ppm), kandungan logam Cu hari ke-0 adalah 156,33 ppm dan pada hari ke-7 menjadi 28,23 ppm. Pada perlakuan C (250 ppm), kandungan logam Cu hari ke-0 adalah 276,33 ppm dan pada hari ke-7 menjadi 226,33 ppm. Pada perlakuan D (350 ppm), kandungan logam Cu hari ke-0 adalah 359 ppm, dan pada hari ke-7 menjadi 245,67 ppm.

Pada proses pengolahan limbah *etching* PCB ini, diindikasikan terdapat bakteri yang berperan dalam penurunan kadar Cu pada limbah. Bakteri yang umum digunakan untuk melakukan bioremediasi logam berat adalah *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Citrobacter*, *Streptococcus*, *Zooglea*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Nitrobacter*, *Zooglea*, *Corynebacterium*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium* dan *Micrococcus* (Kasmidjo, 1991; Sujiwo dkk., 2012). Bakteri-bakteri tersebut mempunyai kemampuan untuk melakukan biosorpsi logam berat Cu secara *passive uptake* dan *active uptake*. Selain melalui mekanisme biosorpsi, resistensi bakteri terhadap logam berat Cu dapat dipengaruhi oleh adanya gen resisten logam berat pada plasmid, kromosomal dan transposon (Wang dkk., 1989; Silver, 1996). Gen yang menyandi adanya resistensi bakteri terhadap logam Cu adalah *cop-operon* yang dapat mereduksi Cu^{2+} menjadi Cu^+ yang tidak berbahaya bagi sel.

Tingkat Keasaman (pH)

Berdasarkan pengukuran tingkat keasaman (pH) yang dilakukan, didapat hasil yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan pengujian tingkat keasaman yang telah dilakukan, didapat hasil bahwa terjadi kenaikan pH pada keempat perlakuan (A,B,C,D). Pada perlakuan A (limbah 50 ppm), pH hari ke-0 sebesar 4,67 dan pada hari ke-7 mengalami kenaikan menjadi 6,22. Perlakuan B (limbah 150 ppm) pH hari ke-0 sebesar 4,37 dan pada hari ke-7 mengalami kenaikan menjadi

6,04. Perlakuan C (250 ppm), pH hari ke-0 sebesar 3,27 dan pada hari ke-7 mengalami kenaikan menjadi 4,07. Perlakuan D (350 ppm), pH hari ke-0 sebesar 3,05 dan pada hari ke-7 mengalami kenaikan menjadi 3,87.

Baku mutu parameter pH berdasarkan Permen LH RI No.5 tahun 2014 adalah 6-9. Setelah dilakukan pengolahan limbah selama tujuh hari, hanya ada dua perlakuan yang mencapai baku mutu, yaitu perlakuan A (limbah 50 ppm) dan perlakuan B (150 ppm) yang memiliki pH sebesar 6,22 dan 6,04. pH merupakan salah satu parameter penting yang memengaruhi proses biosorpsi logam berat oleh mikrobia. Pada pH rendah, permukaan sel mikrobia menjadi lebih bermuatan positif, mengurangi daya tarik menarik antara ion logam dan kelompok fungsional pada dinding sel, sehingga proses biosorpsi logam berat tidak maksimal, selain itu, pH yang rendah juga dapat menyebabkan terhambatnya laju pertumbuhan bakteri aerob sehingga biosorpsi logam berat menjadi menurun (Mallick dan Rai, 1993).

Mikrobia cenderung memerlukan suasana netral untuk dapat melakukan akumulasi logam berat dalam limbah. Bakteri aerob efektif bekerja pada kisaran pH 6-8. Penambahan aerasi (Asfiana, 2015) dalam jangka waktu yang cukup lama dapat meningkatkan pH pada air limbah. Hal ini terjadi karena selama proses aerasi terjadi, kadar CO_2 dihilangkan atau dilepas ke lingkungan. Terjadinya kenaikan pH juga karena adanya kemampuan bakteri dalam respon toleransi asam dengan melakukan mekanisme pompa hidrogen. Beberapa bakteri mempunyai kemampuan untuk melakukan upaya homeostatis terhadap keasaman lingkungan jika masih dalam respon toleransi adaptasinya. Faktor lain yaitu pemberian nutrisi pada bakteri, seperti penambahan larutan gula dan urea pada lumpur aktif dapat meningkatkan nilai pH.

Biological Oxygen Demand (BOD)

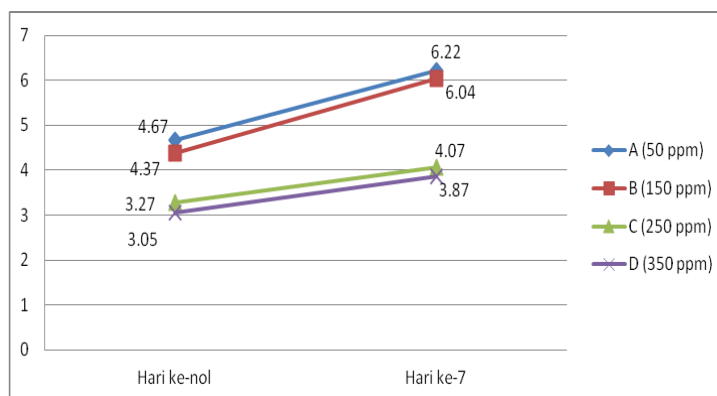
Berdasarkan pengukuran BOD yang dilakukan, didapat hasil yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan pengukuran BOD_5 yang telah dilakukan, didapat hasil (Gambar 3) bahwa kandungan BOD_5 pada keempat perlakuan (A,B,C,D) mengalami penurunan. Pada perlakuan A (50 ppm), BOD_5 hari ke-0 adalah

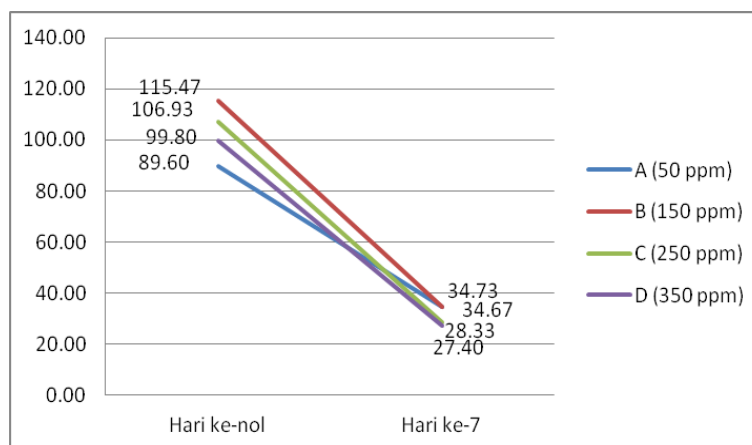
89,60 mg/L dan BOD₅ hari ke-7 adalah 34,67 mg/L. Pada perlakuan B (150 ppm), BOD₅ hari ke-0 adalah 99,80 mg/L dan BOD₅ hari ke-7 adalah 34,73 mg/L. Pada perlakuan C (250 ppm), BOD₅ hari ke-0 adalah 106,93 mg/L dan BOD₅ hari ke-7 adalah 28,33 mg/L. Pada perlakuan D (350 ppm), BOD₅ hari ke-0 adalah 99,8 mg/L dan BOD₅ hari ke-7 adalah 27,40 mg/L. Nilai BOD₅ pada keempat perlakuan setelah dilakukan pengolahan limbah telah mencapai baku mutu berdasarkan Permen LH RI No.5 tahun 2014 yang menyatakan bahwa baku mutu untuk parameter BOD₅ adalah 50 mg/L.

Nilai BOD merupakan salah satu indikator kualitas limbah, nilai BOD yang semakin

menurun mengindikasikan adanya peningkatan kualitas air limbah. Adanya penurunan kandungan BOD pada keempat perlakuan (A,B,C,D) dikarenakan adanya pemberian aerasi. Pemberian aerasi pada proses aerob ini bertujuan untuk menambah penyediaan udara sehingga bakteri aerob akan menggunakan bahan organik yang ada di dalam air limbah sebagai makanannya dengan bantuan O₂. Penggunaan bahan-bahan organik yang ada di dalam limbah oleh bakteri inilah yang menyebabkan turunnya kandungan BOD. Semakin sedikitnya bahan organik yang tersisa dalam air limbah setelah perombakan, maka oksigen yang dibutuhkan bakteripun semakin sedikit (Sugiharto, 1987).



Gambar 2. Peningkatan pH pada limbah proses *etching* PCB dengan variasi kadar Cu A (50 ppm), B (150 ppm), C (250 ppm) dan D (350 ppm) dalam sistem lumpur pada hari ke-0 dan ke-7



Gambar 3. Penurunan BOD pada limbah proses *etching* PCB dengan variasi kadar Cu A (50 ppm), B (150 ppm), C (250 ppm) dan D (350 ppm) dalam sistem lumpur pada hari ke-0 dan ke-7

Chemical Oxygen Demand (COD)

Berdasarkan pengukuran COD yang dilakukan, didapat hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan pengukuran kandungan COD yang dilakukan, didapat hasil bahwa kandungan COD pada keempat perlakuan mengalami penurunan. Pada perlakuan A (50 ppm), COD hari ke-0 sebesar 413,83 mg/L dan hari ke-7 kandungan COD menjadi 22,27 mg/L. Pada perlakuan B (150 ppm), COD hari ke-0 sebesar 195,5 mg/L dan hari ke-7 kandungan COD menjadi 41,63 mg/L. Pada perlakuan C (250 ppm), COD hari ke-0 sebesar 235,5 mg/L dan hari ke-7 kandungan COD menjadi 26,57 mg/L. Pada perlakuan D (350 ppm), COD hari ke-0 sebesar 233,83 mg/L dan hari ke-7 kandungan COD menjadi 20,8 mg/L. Nilai COD pada keempat perlakuan setelah dilakukan pengolahan limbah telah mencapai baku mutu berdasarkan Permen LH RI No.5 tahun 2014 yang menyatakan bahwa baku mutu untuk parameter COD adalah 110 mg/L.

Pada keempat perlakuan (A,B,C,D) terjadi penurunan nilai COD, hal ini karena oksigen telah digunakan oleh bakteri untuk melakukan aktivitas degradasi zat-zat organik kompleks menjadi sederhana. Dalam kondisi aerobik, oksigen berperan dalam mengoksidasi bahan organik dengan menghasilkan nutrient. Nutrient akan digunakan bakteri sebagai energi dan zat organik kompleks akan dioksidasi menjadi lebih sederhana. Dalam penguraian menjadi senyawa sederhana yang melalui proses dekomposisi bahan organik, terdapat dua tahap yaitu bahan organik diurai menjadi bahan anorganik dan bahan anorganik yang tidak stabil kemudian akan mengalami oksidasi menjadi anorganik stabil. (Farikhah, 2012).

Total Suspended Solid (TSS)

Berdasarkan pengukuran TSS yang dilakukan, didapat hasil yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan pengukuran TSS yang telah dilakukan, didapat hasil (Gambar 5) bahwa kandungan TSS pada keempat perlakuan (A,B,C,D) mengalami penurunan. Pada perlakuan A (limbah 50 ppm), TSS hari ke-0 sebesar 2721,67 mg/L dan hari ke-7 adalah 44,3

mg/L. Pada perlakuan B (limbah 150 ppm), TSS hari ke-0 sebesar 906,67 mg/L dan hari ke-7 adalah 65,67 mg/L. Pada perlakuan C (limbah 250 ppm), TSS hari ke-0 sebesar 1253,33 mg/L dan hari ke-7 adalah 126 mg/L. Pada perlakuan D (limbah 350 ppm), TSS hari ke-0 sebesar 1346,67 mg/L dan hari ke-7 adalah 102 mg/L.

Menurut Wignyanto dkk., (2009), menurunnya kadar TSS disebabkan oleh adanya aktivitas pendegradasian zat-zat organik oleh mikroorganisme pendegradasi. Hal ini terjadi karena selama proses pendegradasian berlangsung, molekul kompleks bahan pencemar organik dipecah oleh enzim-enzim yang dimiliki mikroorganisme pendegradasi melalui tahapan hidrolisis menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa hasil hidrolisis ini digunakan untuk metabolisme mikroorganisme sehingga dihasilkan CO₂, H₂O, energi dan sisa metabolisme berupa lumpur yang mudah mengendap, sehingga dengan mekanisme tersebut bahan pencemar organik yang terdapat dalam air limbah merupakan padatan tersuspensi semakin lama semakin berkurang. Selain itu, kandungan logam berat yang telah diakumulasi oleh bakteri juga dapat mempengaruhi nilai TSS yang semakin menurun.

Identifikasi Bakteri

Terdapat tiga bakteri indigenus yang ditemukan dari hasil isolasi sampel yang diambil dari bioreaktor lumpur aktif limbah *etching* PCB. Hasil dari isolasi bakteri indigenus dapat dilihat pada Tabel 1.

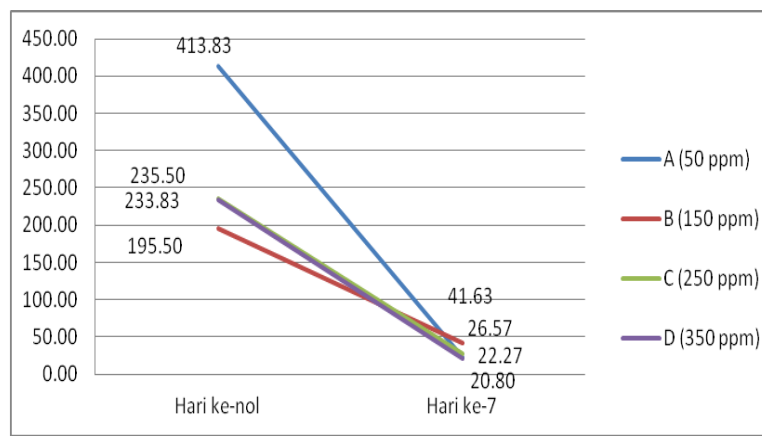
Berdasarkan uji karakteristik dan biokimia bakteri yang telah dilakukan, didapat hasil pengujian isolat bakteri X, Y dan Z. Hasil ini kemudian dicocokkan dengan buku identifikasi bakteri *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Bakteri X memiliki kesamaan sifat dengan bakteri genus *Alcaligenes* (Holt dkk., 2004), yaitu bersifat Gram negatif, berbentuk batang, aerob, bersifat motil, tidak dapat memproduksi asam dan gas dari fermentasi karbohidrat, oksidase dan katalase positif serta nitrat negatif. Bakteri ini banyak ditemukan dalam lingkungan tanah dan air serta dapat ditemukan pada organ pencernaan hewan.

Bakteri Y memiliki kesamaan sifat dengan bakteri genus *Pseudomonas* (Holt dkk., 2004), yaitu bersifat Gram negatif, berbentuk *coccus*,

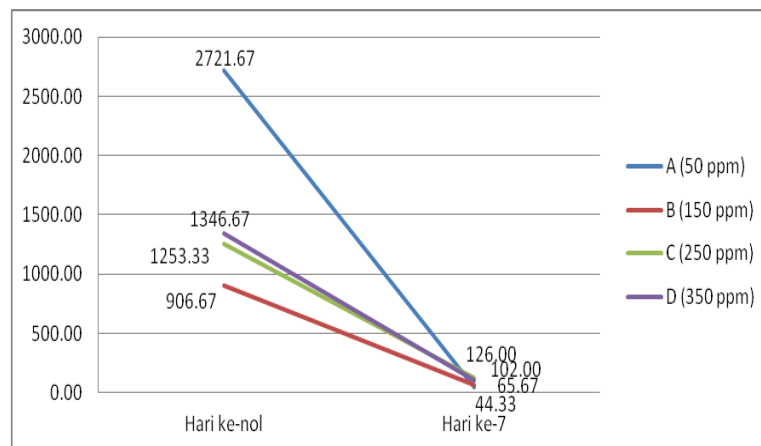
hasil kultur bakteri berwarna kuning, bersifat aerob, katalase positif, bersifat motil karena memiliki flagel polar tunggal. Bakteri genus *Pseudomonas* ini banyak ditemukan di tanah maupun di dalam air. Bakteri ini positif mereduksi nitrat menjadi nitrit dan tidak dapat menghasilkan asam dari fermentasi karbohidrat.

Bakteri Z memiliki kesamaan sifat dengan bakteri genus *Acetobacter*, yaitu bersifat Gram negatif, motil karena memiliki flagel, berbentuk

bulat lonjong sampai batang pendek, aerobik, oksidatif tapi juga bisa fermentatif, menghasilkan enzim katalase, biasa ditemukan di tanah maupun air, dapat memfermentasikan glukosa (biasanya memproduksi H₂ dan CO₂) dan fermentasi glukosa ini biasanya memproduksi asam dan juga gas. *Acetobacter* dapat tumbuh optimal pada pH 3,5-4,3 dan pada suhu 25-30°C (Breed dkk., 1957).



Gambar 4. Penurunan COD pada limbah proses *etching* PCB dengan variasi kadar Cu A (50 ppm), B (150 ppm), C (250 ppm) dan D (350 ppm) dalam sistem lumpur pada hari ke-0 dan ke-7



Gambar 5. Penurunan TSS pada limbah proses *etching* PCB dengan variasi kadar Cu A (50 ppm), B (150 ppm), C (250 ppm) dan D (350 ppm) dalam sistem lumpur pada hari ke-0 dan ke-7

Tabel 1. Karakteristik bakteri dari lumpur aktif limbah cair *etching* PCB

Karakteristik			Isolat Bakteri		
			X	Y	Z
Bentuk koloni			Circular	Circular	Circular
Tepi koloni			Entire	Entire	Entire
Elevasi koloni			Flat	Flat	Raised
Warna koloni			Putih Keruh	Kuning	Putih Susu
Pengecatan Gram			-	-	-
Bentuk sel			Rod	Coccus	Coccus
Uji motilitas			+	+	+
Uji katalase			+	+	+
Uji biokimia	Fermentasi karbohidrat	Glukosa	-	-	+
		Sukrosa	-	-	-
		Laktosa	-	-	-
		Indol	+	+	+
		Nitrat	-	+	+

Keterangan : Positif (+), negatif (-)

Simpulan dan Saran

Simpulan

Hasil karakterisasi isolat bakteri menunjukkan bahwa isolat X, Y, dan Z memiliki bentuk koloni *circular*, tepi koloni *entire*, Gram negatif, motil, katalase positif dan indol positif. Isolat X memiliki bentuk sel *rod*, elevasi koloni *flat*, warna koloni putih keruh, fermentasi karbohidrat negatif serta nitrat negatif. Isolat Y memiliki bentuk sel *coccus*, elevasi koloni *flat*, warna koloni kuning, fermentasi karbohidrat negatif serta nitrat positif. Isolat Z memiliki bentuk sel *coccus*, elevasi koloni *raised*, warna koloni putih susu, fermentasi sukrosa dan laktosa negatif, fermentasi glukosa positif serta nitrat positif. Pengolahan limbah cair *etching* PCB menggunakan bioreaktor sistem lumpur aktif dapat menurunkan kadar Cu sebesar 18,09% hingga 93,18%.

Saran

Perlu dilakukan pengolahan tahapan meliputi pengolahan secara kimiawi dan fisik untuk menaikkan pH limbah sehingga bakteri dapat bertahan hidup di dalam limbah. Perlu dilakukan perbaikan pada urutan tahap penelitian. Perlu dilakukan identifikasi bakteri dalam limbah cair proses *etching* PCB terlebih dahulu, kemudian dilakukan aklimatisasi bakteri sebelum digunakan untuk aplikasi, dan setelah aklimatisasi dilakukan, bakteri ditambahkan ke

dalam bioreaktor untuk dapat melakukan pengolahan limbah. Perlu dilakukan identifikasi secara spesifik seperti menggunakan medium selektif untuk pertumbuhan bakteri serta indentifikasi secara molekuler untuk mengarah ke genus atau spesies.

Daftar Pustaka

- Asfiana, A. 2015. Penurunan Kadar Kontaminan Mangan (Mn) dalam Air secara *Bubble Aerator* dan *Cascade Aerator*. Naskah Skripsi S-1. Progam Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Bitton, G. 1994. *Wastewater Microbiology*. A John Wiley & Sons INC, New York.
- Breed, R.S., Murray, E.G.D. dan Smith, N.R. 1957. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 7th Edition*. The Williams and Wilkins Company, USA.
- Cahyono, H.B. dan Nurul, M.A. 2014. Reduksi Tembaga dalam Limbah Cair Proses Etching Printing Circuit Board (PCB) dengan Proses Elektrokimia. *Jurnal Riset Industri*, 8 (2): 101-121.
- Castro, M.L. dan Martin, N. 2009. The relationship between organization climate and employee satisfactions in a south africa information and technology Organization. *SA Journal of Industrial Psychological*, 36 (1): 1-9.
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Stanley, J.T. dan Williams, S.T. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th ed. Williams and Wilkins, Maryland.

Anggriany dkk.,

- Kasmidjo, R.B. 1991. *Penanganan Limbah Pertanian, Perkebunan, dan Industri Pangan*. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Munawar, Hary, W. dan Utami, P. 2006. Isolasi, Seleksi, dan Karakterisasi Bakteri Pendegradasi Limbah Cair Industri Eksplorasi Produksi Minyak Bumi. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan & SDA*, 4 (6): 84-92.
- Silver, S. 1996. Bacterial resistances to toxic metal ions-a review. *Gene*, 179: 9-19.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. UI Press, Jakarta.
- Sujiwo, B., Syafrudin dan Ganjar, S. 2012. Pemanfaatan Lumpur Aktif dan EM4 sebagai Aktivator dalam Proses Pengomposan Limbah Kulit Bawang dengan *Sludge*. *Jurnal Presipitasi*, 9 (2): 51-63.
- Wignyanto, Nur, H. dan Alfia, A. 2009. Bioremediasi Limbah Cair Sentra Industri Tempe Sanan serta Perencanaan Unit Pengolahannya (Kajian Pengaturan Kecepatan Aerasi dan Waktu Inkubasi. *Jurnal Lingkungan*, 1(2): 23-45.