

EFEKTIVITAS KONSORSIA BAKTERI INDIGEN DALAM MEREDUKSI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) LIMBAH CAIR TEPUNG AGAR

Septiana Wulandari 1, Endang Suarsini 2, Ibrohim 3
Universitas Negeri Malang , Jalan Semarang No. 05, Malang
setiana.bioum@gmail.com

Abstrak: Telah dilakukan penelitian laboratorium untuk menguji efektivitas konsorsia bakteri indigen dalam mereduksi logam Hg pada limbah cair industri tepung agar. Penelitian dilakukan berdasarkan hasil observasi awal, bahwa terkandung logam berat Hg sebesar 1,1093 mg/L dalam limbah tepung agar. Nilai tersebut melebihi batas minimal yang ditetapkan pemerintah PP No.82 Th. 2001 yakni kadar Hg minimal 0,002 mg/L. Kadar Hg yang tinggi akan bersifat toksik bagi kehidupan makhluk hidup. Proses pengolahan limbah melalui pendekatan Biologi dapat dilakukan dengan memanfaatkan bakteri indigen pereduksi Hg. Bakteri indigen paling potensial yang diperoleh adalah *Pseudomonas stutzeri* dan *Actinomyces viscosus*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas konsorsia bakteri dalam mereduksi logam berat Hg. Uji reduksi dilakukan dengan berbagai konsentrasi isolat yakni 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% dari 100ml limbah yang terdiri dari isolat A:*Pseudomonas stutzeri*, B: *Actinomyces viscosus* dan konsorsia AB: gabungan dari *Pseudomonas stutzeri* dan *Actinomyces viscosus*. Data efektivitas konsorsia bakteri dalam mereduksi Hg dianalisis menggunakan uji statistik anava dua jalur. Konsorsia bakteri indigen konsentrasi 7% mampu menurunkan kadar Hg sebesar 74,5%.

Kata Kunci: Konsorsia bakteri, Bakteri indigen, Reduksi, Logam merkuri (Hg)

PENDAHULUAN

Upaya dalam memenuhi kebutuhan masyarakat moderen yang semakin kompleks, maka banyak berkembang berbagai industri. Salah satu industri yang berkembang saat ini adalah industri tepung agar dengan memanfaatkan rumput laut jenis *Gracilaria* Sp. sebagai bahan utama produksi tepung agar. Tepung agar memiliki banyak kegunaan antara lain sebagai bahan baku jeli atau agar-agar, bahan kosmetik masker, dan digunakan dalam pembuatan cangkang kapsul.

Seiring semakin berkembangnya produksi pengolahan tepung agar maka permasalahan limbah cair hasil dari produksi pengolahan yang tidak tertangani dengan baik akan berdampak bagi lingkungan sebagai bahan pencemar. Limbah cair tepung agar ditemukan berbagai zat pencemar yang salah satunya adalah logam berat merkuri atau Hg. Hasil observasi awal pada limbah cair dari industri pengolahan tepung agar mengandung logam berat Hg sebesar 1,1093 mg/l, nilai tersebut melebihi batas minimal kandungan logam berat dalam air yang ditetapkan pemerintah pada PP No.82 Th. 2001 yakni kadar Hg yaitu 0,002 mg/L.

Logam berat merupakan bahan pencemar berbahaya karena sifatnya yang sulit didegradasi, sehingga terakumulasi membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik (Satchanska,dkk., 2005). Hg pada konsentrasi yang melebihi baku mutu merupakan polutan berbahaya bagi organisme. Daerah tercemar Hg dapat mengganggu perkembangan dan pertumbuhan kehidupan makhluk hidup yang tinggal disekitar lingkungan tercemar (Duruibe, 2007). Hg dalam bentuk *metal* merkuri, sebagian besar akan terakumulasi di otak, dalam waktu singkat bisa menyebabkan berbagai gangguan. Mulai dari rusaknya keseimbangan tubuh, tidak bisa berkonsentrasi dan tuli (Widowati, 2008)

Hg dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber kehidupannya. (Atlas dan Bartha, 1993). Organisme yang dapat hidup di lingkungan polutan telah mengembangkan resistensi terhadap beberapa senyawa kimia dan berguna untuk bioremediasi. Pemanfaatan aktivitas mikroba aerob maupun anaerob dalam mengolah limbah cair yakni karena kemampuannya menguraikan zat organik menjadi zat anorganik yang lebih sederhana dalam limbah sehingga tidak memberikan dampak pencemaran lain terhadap lingkungan yang merupakan habitat berbagai mahluk hidup (Fardiaz, 2006)

Fatimawali (2011) mengungkapkan bahwa bakteri pada daerah tercemar merkuri berperan utama dalam detoksifikasi merkuri, oleh karena itu bakteri pada daerah tercemar merkuri merupakan sumber untuk isolasi berbagai mikroba resisten merkuri. Bourquin (1990) memanfaatkan bakteri indigen untuk bioremoval yang

diperoleh melalui isolasi bakteri dari perairan tercemar logam untuk dipropagasi sebagai agen bioreduksi. Pemanfaatan beberapa jenis bakteri sebagai agen bioreduksi logam berat, diantaranya dari genus *Pseudomonas*, *Leptotrix*, *Klebsiella*, *Citrobacter* dan *Bacillus*. Lebih lanjut Wagner-Dobler *et al.*, (2000) melaporkan *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas stutzeri* dan *Pseudomonas fulva* juga dapat secara efektif digunakan dalam proses bioremoval logam merkuri (Hg) secara *in vitro*.

Bakteri indigen potensial reduksi Hg yang ditemukan dalam limbah cair tepung agar adalah *Actinomyces viscosus* dan *Pseudomonas stutzeri*, dalam upaya optimalisasi reduksi logam berat Hg dalam limbah maka yang dapat dilakukan adalah mengkonsorsiumkan bakteri indigen yang telah ditemukan.

Thompson *et al.*, (2005) menyatakan bahwa proses reduksi zat pencemar di lingkungan dilakukan oleh konsorsium mikroba bukan satu jenis mikroba saja. Berdasarkan paparan yang telah dijelaskan telah dilakukan pengujian efektivitas konsorsia bakteri indigen terhadap reduksi limbah cair Hg di lingkungan industri tepung agar, sebagai upaya penanggulangan bahaya pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam berat khususnya logam berat Hg. Berdasarkan paparan tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas konsorsia bakteri dalam mereduksi logam berat Hg pada limbah industri tepung agar.

METODE PENELITIAN

Penelitian eksperimen di laboratorium menggunakan dua isolat bakteri indigen dari limbah cair pengolahan tepung agar yakni *Pseudomonas stutzeri* (isolat A) dan *Actinomyces viscosus* (isolat B) sebagai isolat tunggal, dan gabungan dua isolat tersebut sebagai konsorsia bakteri (konsorsia AB). Pengambilan sampel limbah menggunakan metode random sampling. Konsentrasi perlakuan isolat dalam limbah ditentukan pada 5 tingkat konsentrasi yaitu 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% dari 100ml limbah, disertai dengan kontrol yakni kontrol negatif dan kontrol positif. Rancangan penelitian kuantitatif yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL).

Penelitian dilakukan dengan mencari efektivitas antara isolat tunggal dan konsorsia bakteri dengan rumus

Nilai reduksi = (kadar awal – kadar akhir)

$$\text{Persentase Reduksi} = \frac{\text{Nilai reduksi}}{\text{Kadar awal}} \times 100 \%$$

Penelitian ini menggunakan dua kali ulangan (*Duplo*). Perlakuan reduksi dilakukan selama 7 hari, selanjutnya diuji kadar Hg. Uji reduksi dilakukan dengan analisis menggunakan alat spektrofotometer.

Analisis data dari penelitian ini menggunakan uji statistik Analisis Varian (ANOVA) dua jalur, untuk mengetahui perbedaan berbagai konsentrasi konsorsia bakteri dalam reduksi Hg. Data yang signifikan diuji lanjut menggunakan uji Duncan yang bertujuan untuk mengetahui konsentrasi yang paling efektif dalam reduksi Hg

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas reduksi logam berat Hg oleh isolat bakteri dan konsorsia bakteri bakteri telah dilakukan. Data hasil analisis persentase reduksi Hg dapat dilihat pada Tabel 1. dan ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Persentase Reduksi Logam Hg

Perlakuan Isolat dan kontrol	Reduksi (%)				
	Konsentrasi Isolat dan Kontrol				
	3%	4%	5%	6%	7%
K+	2.7	4.5	5.6	7.2	8.6
K-	3.8	9.9	16.3	19.7	22.0
A	16.8	28.8	37.4	51.7	60.1
B	12	24	34	44	53.8
AB	23.6	33.6	40.9	57.5	74.5

Keterangan:

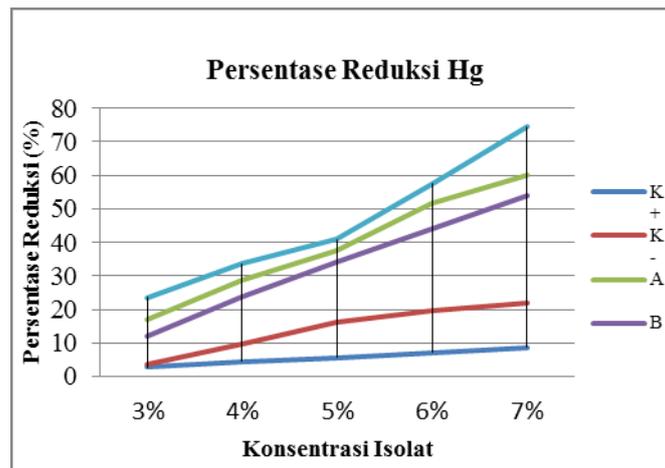
K+: Kontrol Positif

B: *Actinomyces viscosus*

K-: Kontrol Negatif

AB: Konsorsia Bakteri

A: *Pseudomonas stutzeri*



Gambar 1. Diagram Garis Persentase Reduksi Hg

Hasil uji statistik dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Statistik Anava dalam Notasi

No	Bakteri	Perlakuan	Notasi
1	K +	3%	a
2	K -	3%	ab
3	K +	4%	ab
4	K +	5%	b
5	K +	6%	bc
6	K +	7%	c
7	K -	4%	cd
8	B	3%	d
9	K -	5%	e
10	A	3%	e
11	K -	6%	f
12	K -	7%	fg
13	AB	3%	g
14	B	4%	g
15	A	4%	h
16	AB	4%	i
17	B	5%	i
18	A	5%	j
19	AB	5%	k
20	B	6%	l
21	A	6%	m
22	B	7%	m
23	AB	6%	n
24	A	7%	n
25	AB	7%	o

Perhitungan statistik diperoleh $F_{hitung} (3474,530) > F_{tabel} (2,758)$ maka terdapat perbedaan yang signifikan antar berbagai isolat dengan nilai reduksi. Perbedaan penurunan Hg berdasarkan perlakuan konsentrasi diperoleh $F_{hitung} (1926,968) > F_{tabel} (2,758)$ maka perlakuan mempengaruhi penurunan kadar Hg.

Data interaksi antara jenis bakteri dan perlakuan konsentrasi isolat diperoleh $F_{hitung} (143.670) > F_{tabel} (2,069)$ sehingga terdapat interaksi antara bakteri dan perlakuan terhadap penurunan kadar Hg, untuk melihat isolat paling potensial dan konsentrasi paing efektif degan melihat Tabel 2.

maka diperoleh isolat AB sebagai isolat konsorsia bakteri dengan konsentrasi 7% yang memiliki potensi reduksi Hg terbaik.

Kemampuan reduksi setiap isolat bakteri telah terbukti kemampuannya dalam mereduksi logam berat Hg sebagaimana yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya oleh Nugraha (2014) yang memaparkan bahwa isolat bakteri *Actinomyces viscosus* dan *Pseudomonas stutzeri* mampu mereduksi logam berat Hg. Thieman & Micheal (2013) juga menjelaskan bahwa jenis dari *Pseudomonas* dan *Bacillus* merupakan jenis bakteri yang memiliki resistensi tinggi terhadap logam berat di lingkungan tercemar, sehingga keberadaannya dapat dimanfaatkan sebagai agen bioreduksi logam berat dilingkungan.

Kemampuan bakteri dalam kemampuannya mereduksi logam berat dari hasil penelitian memiliki dampak yang signifikan, namun dari setiap isolat memiliki perbedaan hasil reduksi. Berdasarkan data dapat diketahui bahwa *Pseudomonas stutzeri* memiliki potensi lebih baik dibandingkan dengan *Actinomyces viscosus*. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena bakteri gram negatif *Pseudomonas stutzeri* menunjukkan toleransi terhadap logam yang lebih besar daripada gram positif, karena bakteri gram negatif memiliki struktur dinding sel yang lebih kompleks sehingga mampu mengikat ion logam termasuk Hg^{2+} dengan lebih baik. Kemampuan bakteri gram negatif menghasilkan polisakarida ekstraselular yang mampu melindungi sel dari pengaruh toksik logam berat.

Selain itu, potensi reduksi berhubungan dengan mekanisme *mer operon* dalam merespon keberadaan Hg. *Mer operon* merupakan sekelompok gen yang mengkode protein dengan fungsi regulasi, transportasi, dan reduksi terhadap merkuri (Narita *et al.*, 2003). *Mer operon* dapat menyandi gen resistensi merkuri yang terdiri dari beberapa gen yaitu gen *merR*, *merD*, *merP*, *merT*, *merC*, *merF*, *merA* dan *merB*. Gen *merR* dan *merD* memiliki peran dalam proses regulasi. Gen regulator *merR* mengontrol ekspresi *mer operon* dengan menyandi protein khusus yang mengontrol proses transkripsi gen operon *merP*, *merT*, *merC*, dan *MerF* sedangkan gen *merD* bertindak sebagai repressor. Transkripsi operon *mer* distimulasi dengan adanya Hg^{2+} (Brown *et al.*, 2003 dalam Baoyu, 2010).

Gen *merP*, *merT*, *merC*, dan *merF* berperan dalam proses transport Hg^{2+} ke dalam sel. Dari berbagai *mer operon* tersebut peneliti sebelumnya telah berhasil mengidentifikasi *merP* pada bakteri indigen yang terdapat pada limbah cair tepung agar yakni *Pseudomonas stutzeri* dan *Actinomyces viscosus*.

Gen *merP* merupakan gen pengatur ekspresi *cystein*. *cystein* merupakan protein yang berperan dalam mekanisme pengikatan ion logam secara ekstraseluler pada membran sel bakteri. (Barkay & Wagner, 2005). Tingkat afinitas *cystein* dipengaruhi oleh muatan negatif permukaan luar dengan adanya asam teichoat pada bakteri gram positif (*Actinomyces viscosus*) dan adanya lipopolisakarida untuk bakteri gram negatif (*Pseudomonas stutzeri*).

Selanjutnya *merT* mengkode protein membran integral yang dapat memfasilitasi ion Hg^{2+} menuju *organomercury lyase* yang telah dikode oleh *merB* dimana sisi pengikatan substratnya terdapat pada bagian C-terminus dan membutuhkan Enzim *merkury reduktase* yang disandi oleh gen *merA* untuk mereduksi Hg^{2+} menjadi Hg^0 (Brown *et al.*, 1985 dalam Baoyu *et al.*, 2010).

Pseudomonas stutzeri dan *Actinomyces viscosus* merupakan bakteri gram negatif dan gram positif yang memiliki primer *merP* dalam selnya hal ini dibuktikan dengan hasil dari amplifikasi Fragmen Gen *merP*, dari hasil elektroforesis yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yakni Nugraha (2015).

Kemampuan dari *Pseudomonas stutzeri* dan *Actinomyces viscosus* dalam mereduksi kandungan Hg dilingkungan telah dapat dibuktikan, namun untuk memaksimalkan proses reduksi Hg maka dilakukan dengan mengkonsorsia kedua bakteri tersebut. Hasil uji reduksi oleh setiap isolat bakteri dari hasil analisis statistik memiliki perbedaan dalam nilai reduksinya dan dapat diketahui bahwa hasil reduksi konsorsia bakteri memiliki nilai reduksi yang lebih baik dibandingkan dengan hasil reduksi dari perlakuan dengan menggunakan satu jenis isolat perlakuan maupun kontrol.

Kemampuan yang lebih baik dari reduksi logam oleh konsorsia bakteri yang telah diaplikasikan pada limbah dapat didukung oleh penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya yakni menyatakan bahwa hubungan antara bakteri konsorsium dalam keadaan substrat atau nutrisi pada lingkungan yang mencukupi tidak akan saling mengganggu satu dan lainnya, tetapi akan saling berinteraksi secara sinergi sehingga menghasilkan efisiensi perombakan yang lebih tinggi atau efisien selama proses pengolahan reduksi zat pencemar (Prakash *et al.*, 2003)

Selain itu penelitian Turista (2015) membuktikan bahwa penambahan 3 inokulum bakteri indigen konsorsium dapat meningkatkan proses reduksi logam Cr^{6+} dari pada hanya menggunakan isolat tunggal dalam proses reduksi limbah. Lebih lanjut dijelaskan bahwa pemanfaatan konsorsia bakteri memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan isolat tunggal, sebab adanya perpaduan dari enzim yang dimiliki oleh mikroba dapat bekerja lebih optimal karena adanya saling melengkapi dalam proses kerja reduksi bahan tercemar, sehingga dapat lebih optimal dan efisien dalam proses bertahan hidup dengan memanfaatkan sumber nutrisi yang tersedia dalam kondisi lingkungan tersebut (Okoh, 2006).

Pemanfaatan konsorsia bakteri juga telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya Suarsini (2007) yang menyatakan bahwa konsorsium bakteri indigen lebih efektif dalam meremidiasi limbah cair rumah tangga sehingga penggunaan konsorsia bakteri dalam perlakuan reduksi zat pencemar lebih direkomendasikan untuk dilakukan.

Konsentrasi konsorsia bakteri memiliki pengaruh dalam kaitannya dengan produksi pengeluaran enzim yang dihasilkan. Jika jumlah enzim yang dihasilkan seimbang dengan volume polutan, maka terjadi proses reduksi zat pencemar yang lebih efektif.

KESIMPULAN

Konsorsia bakteri memiliki kemampuan lebih baik dibandingkan dengan isolat tunggal dalam upaya mereduksi logam berat Hg. Konsentrasi isolat dalam limbah mempengaruhi efektivitas dalam mereduksi logam berat Hg pada limbah cair industri tepung agar. Konsorsia bakteri indigen konsentrasi 7% mampu menurunkan kadar logam sebesar 74,5%.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disarankan untuk dilakukan analisis lebih lanjut mengenai logam pencemar lainnya yang terdapat dalam limbah cair tepung agar dan mengkonsorsia bakteri indigen potensial reduksi logam lainnya, sehingga dapat meminimalisir dampak pencemaran yang diakibatkan oleh logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, R.M. & R. Bartha. 1993. *Microbial Ecology. Philippines* : Addison Wesley.
- Baoyu Hong, dkk. 2011. Direct Measurement of Hg(II) Removal from Organomercurial Lyase (MerB) by Tryptophan Fluorescence: NmerA Domain of Co-evolved γ -Proteobacterial Mercuric Ion Reductase (MerA) Is More Efficient than MerA Catalytic Core or Glutathione. *Biochemistry*. Vol 49(37):8187-8196
- Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O. C. dan Egwurugwu, J. N. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences* Vol. 2 (5), pp. 112-118.
- Fatimawali, Fatmawati B, Irawan Y. 2011. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Resisten Merkuri dari Muara Sungai Sario yang dapat digunakan untuk Detoksifikasi Limbah Merkuri. *Ejournal unsrat* 220:171. 20.
- Fardiaz, S. 2006. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Narita, Masaru, Kazuyuki Chiba, Hiroshi Nishizawa, Hidenori Ishii, Chieh-Chen Huang, Zen'ichiro Kawabata, Simon Silver, and Ginro Endo. 2003. *Diversity of Mercury Resistance Determinants Among Bacillus Strains Isolated From Sediment of Minamata Bay*. ELSEVIER. *FEMS Microb. Letters*, 223: 73-82.
- Nugraha, A.W. 2014. *Isolasi Gen Pengkelat Logam Berat Hg dari Bakteri Indigen Limbah Cair Agar sebagai Bahan Pengembangan Buku Ajar Matakuliah Pengantar Bioteknologi di Universitas Negeri Malang*. Tesis Tidak Diterbitkan. Malang: PPS UM.
- Okoh, A.I. 2006. Biodegradation Alternative in the Cleanup of Petroleum Hydrocarbon Pollutans. *Biotechnology and Molecular Biology Review*. Vol 9(2):38-50.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 33 Tahun 2009 Tentang Tata Cara Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun. (Online), (menlh.go.id/pdf/ind/IND-PUU-7-2009-Permen.No.33.Tahun.2009.LTB3_Combine.pdf), diakses 25 Oktober 2015.
- Prakash, B., Veeregowda, B. M., dan Krishnappa, G. 2003. Biofilm: A survival Strategy of Bacteria (Review). *Curent Science*, Vol 85 (9).
- Satchanska, G, E.N, Pentcheva, R. Antanasova., V. Groudeva, R., Trifonova and E. Golovinsky. 2005. Microbial Diversity in Heavy-Metal Polluted Waters. *Enviromental Biotechnology*. Vol 19 (3): 61-67.
- Suarsini, E. 2007. Bioremediasi Limbah Cair Rumah Tangga Menggunakan Konsorsia Bakteri Indigen dalam Menunjang Pembelajaran Masyarakat. Desertasi tidak Diterbitkan. Malang: PPs Universitas Negeri Malang

- Thieman, J William dan Micheal A. Pallidino. 2013. *Introduction to Biotechnology Third Edition*. Amerika: Pearson.
- Thompson, I. P., van der Gast, C. J., Ciric, L. dan Singer, A. C. 2005. Bioaugmentation for bioremediation: the challenge of strain selection. *Environmental Microbiology*, 7 (7): 909-915.
- Turista, D.D. 2015. *Bioreduksi Logam Berat Cr⁶⁺ Menggunakan Konsorsium Bakteri Indigen Sungai Bades Kota Malang Sebagai Bahan Penyusunan Hand out Mata Kuliah Pencemaran Lingkungan*. Tesis tidak diterbitkan Malang: PPs UM.
- Wagner-Dobler, I, H.V. Canstein, Y. Li, K. N. Timmis, and W.D. Deckwer. 2000. Removal of Mercury from Chemical Wastewater by Microorganisms in Technical Scale. *Environmental Science*. 34.
- Widowati, W.; Sastiono, A.; Jusuf, R. 2008. "*Efek Toksik Logam*" *Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: ANDI.