

***NOSTOC COMMUNE VAUCHER EX BORNET & FLAHAULT* SEBAGAI FIKOREMEDIATOR LOGAM BERAT KADMIUM (CD (II))**

¹Rachmawati P. Fauzi, ²M. Masykuri dan ²Sunarto

¹Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret

²Staff Pengajar Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sebelas Maret

Abstrak

Nostoc commune Vaucher ex Bornet & Flahault diketahui mengandung berbagai gugus anion seperti amino, karboksil, hidroksi dan karbonil serta EPS (*Ektraseluler Polymer Substance*) yang menyediakan permukaan absorpsi spesifik untuk ion logam berat sehingga spesies ini dapat dimanfaatkan sebagai biomaterial penyerap bahan pencemar, khususnya logam berat. Penggunaan algae untuk menghilangkan bahan pencemar dari lingkungan disebut fikoremediasi. Fikoremediasi adalah salah satu upaya untuk mengatasi pencemaran Cd (II) di lingkungan. Kadmium merupakan salah satu logam berat non esensial yang bersifat toksik. Keberadaannya yang berlebihan di dalam lingkungan akan membahayakan organisme disekitarnya, oleh karena itu keberadaannya di lingkungan harus di minimalkan atau dihilangkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *N. commune* dalam meremediasi Cd (II) dan mempelajari gambaran morfologi *N. commune* setelah terpapar kadmium.

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan metode *batch*. Penentuan kondisi optimum meliputi pH, waktu kontak, konsentrasi logam berat dan massa fikoremediator. Analisis Cd (II) diukur dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom Nyala (SSA Nyala). Setelah proses remediasi selesai, dilakukan pengamatan terhadap morfologi sel *N. commune* dengan membuat preparat *squash*.

Hasil menunjukkan bahwa kondisi optimal remediasi Cd (II) oleh *N. commune* diperoleh pada konsentrasi kadmium 100 mg/L pada pH 8 dengan waktu kontak 10 menit dan massa fikoremediator 0,6 gram. Analisis SSA menunjukkan efisiensi remediasi tertinggi sebesar 98,92% dengan kapasitas remediasi sebesar 3,927 mg/g. *N. commune* mengalami kerusakan pada struktur sel setelah terpapar Cd (II) pada konsentrasi 200 mg/L – 600 mg/L.

Kata kunci: *N. commune* Vaucher ex Bornet & Flahault, fikoremediasi, logam berat, kadmium

Pendahuluan

Nostoc commune Vaucher ex Bornet & Flahault diketahui memiliki banyak manfaat, baik bagi manusia maupun bagi lingkungan. Oleh karena kandungan pro-

teinnya yang tinggi (20 – 60% per gram berat kering) dan kandungan asam amino esensial yang cukup lengkap (mensintesis 8 asam amino esensial, yaitu: *metionin, valin, fenilalanin, histidin, isoleusin, leusin,*

arginin, dan *lisin*), *N. commune* telah lama dikenal dan dimanfaatkan oleh beberapa negara seperti China, Jepang, Filipina, Amerika dan Indonesia sebagai bahan makanan kaya protein (Trainor, 1978; Lee, 1989; Van Reine & Trono, 2001). Selain sebagai itu, *N. commune* juga dapat dimanfaatkan untuk menurunkan kadar kolesterol dalam darah (Mujib, 2012).

Bagi lingkungan, *N. commune* memiliki peran dalam perbaikan kesuburan tanah, khususnya sebagai penyedia nitrogen dalam tanah. Peran *N. commune* sebagai penyedia nitrogen dalam tanah disebabkan karena kemampuannya dalam memfiksasi nitrogen bebas di alam dan mengubahnya menjadi senyawa amonia, yang kemudian dilepaskan ke tanah sekelilingnya untuk kemudian dapat digunakan oleh organisme lain sebagai sumber nitrogen. *N. commune* juga dapat dimanfaatkan sebagai biomaterial penyerap bahan-bahan pencemar, khususnya logam berat, sebab spesies ini mengandung berbagai gugus anion seperti amino, karboksil, hidroksil dan karbonil yang menyediakan permukaan adsorpsi spesifik untuk ion logam berat (Morsy *et al.*, 2011).

N. commune merupakan anggota dari Divisi Cyanophyta (algae hijau-biru), yang juga dikenal sebagai anggota dari Cyanobacteria (bakteri hijau-biru). Anggota dari Divisi Cyanophyta ini banyak ditemukan tersebar luas di alam, salah satu diantaranya adalah *N. commune*. Spesies ini memiliki cakupan distribusi yang sangat luas yaitu dari daerah tropis hingga ke kutub (Whitton & Potts, 2000). Di Indonesia, *N. commune* dapat ditemukan di daerah Hutan Wanagama, Gunung Kidul. Di tempat tersebut, spesies ini banyak ditemukan hidup secara berkoloni membentuk struktur makroskopis menyerupai *Jamur Kuping* yang menempel pada tanah atau bebatuan. Oleh masyarakat sekitar, koloni makroskopis *N. commune* disebut dengan sebutan *Jamur Selo*.

Pencemaran logam berat di lingkungan telah menjadi isu global, dikarenakan perkembangan industri yang sangat pesat. Limbah buangan industri, baik limbah cair, limbah padat maupun limbah gas memberikan kontribusi dalam pelepasan logam berat di lingkungan. Salah satu logam berat yang merupakan sumber polusi dan perlu dihilangkan adalah logam kadmium (Cd). Logam kadmium tergolong dalam logam non esensial yang keberadaannya tidak dibutuhkan sama sekali dalam tubuh dan cenderung bersifat toksik. Keberadaan logam kadmium yang bersifat toksik di lingkungan tentunya akan berdampak negatif pada makhluk hidup di sekitarnya. Menurut Peraturan Pemerintah Nomer 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air diketahui bahwa baku mutu kadmium yang boleh dialirkan ke air permukaan adalah sebesar 0,01 mg/L.

Keberadaan logam kadmium dalam lingkungan secara berlebihan akan menimbulkan dampak yang luas baik secara langsung maupun tidak langsung, sebab logam ini mudah diadsorpsi dan terakumulasi oleh tubuh organisme. Menurut *Food and Agriculture Organization (FAO) & World Health Organization (WHO)* kadar kadmium yang dapat ditoleransi oleh manusia adalah sebesar 7 μ /kg berat badan (Sarjono, 2009). Keracunan logam berat kadmium dapat menyebabkan kanker, kerusakan sebagian sistem saraf yang menyebabkan kelumpuhan, serta menyebabkan kerusakan pada organ vital manusia yaitu *hepar* dan *ren*.

Upaya untuk mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan telah banyak dilakukan, salah satunya adalah dengan fikoremediasi. Fikoremediasi merupakan salah satu aplikasi bioremediasi. Bioremediasi adalah upaya membersihkan lingkungan dari bahan pencemar dengan menggunakan agen-agen biologis. Pada fikoremediasi, agen biologis yang

digunakan adalah algae, baik mikroalgae maupun makroalgae. Pemanfaatan algae sebagai fikoremediator memiliki beberapa kelebihan yaitu bahan bakunya mudah diperoleh karena banyak terdapat di alam, mudah dibudidayakan, dan memiliki biaya operasional rendah. Menurut Arifin (2003), suatu fikoremediator dapat dikatakan murah apabila bahannya mudah didapat dan memerlukan sedikit proses sehingga memiliki biaya operasional yang murah. Dengan demikian metode fikoremediasi dapat digunakan sebagai salah satu metode remediasi yang murah dan ramah lingkungan.

Metode Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Atomic Adsorption Spectrometer-flame* (FAAS) Shimadzu AA-6650, lemari asam, oven, pH meter, timbangan analitik, *Hot Plate*, kertas saring *whatman 40*, mikroskop cahaya Nikon Eclipse E600 dengan kamera Nikon Coolpix L15, gelas kaca Brand no 7105, kaca penutup Asisslent 18x18, Erlenmeyer, pipet tetes, pipet ukur, pinset, botol vial, corong gelas, labu ukur dan silet, Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet & Flahault kering yang diambil di hutan Wanagama Gunung Kidul, Larutan standart kadmium nitrat ($Cd(NO_3)_2$ dalam HNO_3), asam nitrat pekat (HNO_3), tissue, alumunium foil, larutan buffer pH 4, 5, 6, 7, 8 dan 9, serta aquades.

Prosedur kerja adalah sebagai berikut:

1. Sterilisasi

Alat-alat gelas terlebih dahuludisterilisasi dengan oven pada temperatur 100°C selama 15 menit.

2. Penyiapan *N. commune* segar

N. commune kering yang telah disiapkan dicuci dengan aquades untuk menghilangkan sisa tanah dan kontaminasi bakteri lainnya yang dapat mengganggu pertumbuhan. Selanjutnya sampel direndam selama \pm 30 menit hingga diperoleh kenampakan segar

kekenyalan.

3. Penentuan pH larutan optimum

Sebanyak 0,2 gram *N. commune* dimasukkan ke dalam 20 mL medium yang mengandung kadmium dengan konsentrasi 100 mg/L dengan variasi derajat keasaman (pH) 4,5,6,7, 8, dan 9. Selanjutnya masing-masing dikontakan selama 60 menit dengan sekali-kali digoyang untuk menghindari terjadinya endapan. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya diukur dengan *Atomic Adsorption Spectrometer-flame* (FAAS).

4. Penentuan waktu kontak optimum

Sebanyak 0,2 gram *N. commune* dimasukkan ke dalam 20 mL larutan yang mengandung kadmium dengan konsentrasi 100 mg/L dengan pH optimum 8. Larutan digoyang selama 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya diukur dengan *Atomic Adsorption Spectrometer-flame* (FAAS).

5. Penentuan konsentrasi larutan logam optimum

Ke dalam erlenmeyer 100 mL dimasukkan masing-masing 0,2 gram *N. commune* dan ditambahkan larutan yang mengandung kadmium dengan konsentrasi 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L dan 600 mg/Lsebanyak 20 mL pada pH 8. Masing-masing diinteraksikan selama 10 menit. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya diukur dengan *Atomic Adsorption Spectrometer-flame* (FAAS).

6. Penentuan massa *N. Commune* optimum pada remediasi logam berat kadmium (Cd(II))

Ke dalam erlenmeyer 100 mL dimasukkan masing-masing 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 dan 0,6 gram *N. commune* dan ditambahkan 20 mL larutan yang mengandung kadmium dengan konsentrasi 200 mg/L pada pH 8. Masing-masing diinteraksikan selama 10 menit. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya diukur dengan *Atomic Adsorption Spectrometer-flame* (FAAS).

7. Penentuan efisiensi dan kapasitas remediasi *N. Commune* terhadap logam berat

kadmium (Cd(II)) dalam kondisi optimum
 Sebanyak 0,6 gram *N. commune* dimasukkan ke dalam tiga buah tabung erlenmeyer yang berisi 20 mL larutan logam berat kadmium dengan konsentrasi 100 mg/L dan pH 8. *N. commune* diinteraksikan dengan larutan logam kadmium selama 10 menit. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya diukur dengan *Atomic Adsorption Spectrometer-flame* (FAAS) untuk diukur efisiensi dan kapasitas remediiasi optimumnya.

8. Pembuatan preparat squash

Koloni *N. commune* diiris sebesar 1 mm, lalu diletakkan di atas gelasbenda. Sampel ditetesi akuades dan ditutup dengan gelas penutup. Gelas penutup ditekan dengan ujung pensil hingga sampel hancur. Preparat segera diamati di bawah mikroskop cahaya yang dilengkapi dengan kamera dengan perbesaran 400x.

Data konsentrasi ion kadmium dianalisis dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) untuk mendapatkan nilai kapasitas dan efisiensi remediiasi *N. Commune* terhadap ion logam kadmium. Selanjutnya dianalisis secara deskripif dengan membuat kurva adsorbsi dengan melihat grafik hubungan antara efisiensi remediiasi (%) dan kapasitas remediiasi (mg/g) logam kadmium (Cd(II)) yang teremediasi terhadap

masing-masing parameter untuk mengetahui kondisi optimum pada tiap parameter.
 $E = ((C1-C2)/C1) \times 100\%$(1)

$Q = ((C1-C2)/m) \times V$(2)

Keterangan:

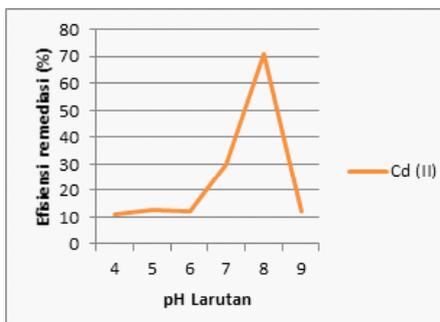
- Q = Kapasitas Adsorbsi per bobot molekul (mg/g)
- C1 = Konsentrasi awal larutan (mg/L)
- C2 = Konsentrasi akhir larutan (mg/L)
- m = Massa fikoremediator (g)
- V = Volume larutan (L)
- E = Efisiensi adsorbsi (%)

Gambaran struktur morfologi sel dan koloni *N. commune*, dianalisis secara deskripif. Hasil yang representatif untuk masing-masing perlakuan dibuat foto mikroskopi.

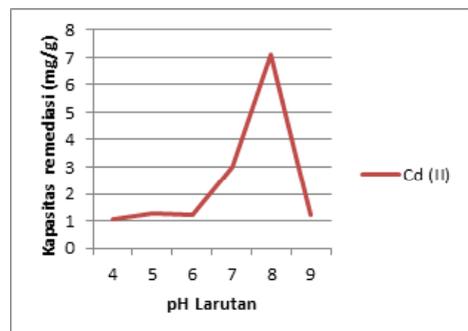
Hasil dan Pembahasan

Pengaruh pH Larutan Terhadap Remediiasi Logam Berat Kadmium (Cd (II)) oleh *Nostoc commune*

pH merupakan salah satu parameter terpenting dalam remediiasi logam kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune*. Hal ini dikarenakan pH memiliki peran penting dalam kelarutan ion logam dalam larutan, kemampuan hidup fikoremediator, dan da-



Gambar 1. Efisiensi Remediasi Cd (II) oleh *N. Commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan pH Larutan (Volume 20 mL, Konsentrasi 100 mg/L, Massa *N. commune* 0,2 gram)



Gambar 2. Kapasitas Remediasi Cd (II) oleh *N. commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan pH Larutan (Volume 20 mL, Konsentrasi 100 mg/L, Massa *N. commune* 0,2 gram).

lam reaksi adsorpsi ion logam oleh fikoremediator. Hasil pengujian pengaruh variasi pH terhadap efisiensi dan kapasitas remediasi ion logam berat kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune* disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Dari Gambar diatas dapat dilihat bahwa kurva efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi logam berat kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune* memiliki pola yang sama yaitu, efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi terus mengalami peningkatan hingga pH 8. Selanjutnya terjadi penurunan efisiensi dan kapasitas remediasi pada pH 9.

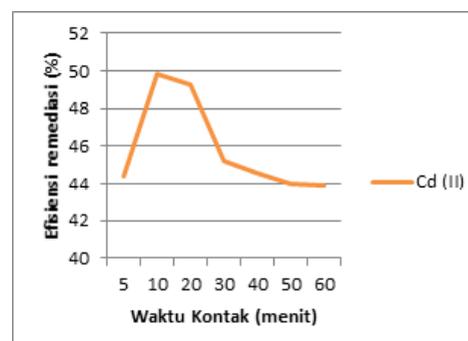
Pada pH 4 – 6 efisiensi dan kapasitas penyerapan ion kadmium cenderung rendah. Hal ini dikarenakan pada pH rendah jumlah proton (H^+) melimpah, sehingga ion kadmium (Cd^{2+}) akan berkompetisi dengan proton pada proses pertukaran ion di permukaan adsorben. Sisi aktif akan berikatan dengan ion hidronium (H_3O^+) dan menghambat sisi aktif berikatan dengan ion logam kadmium (Cd^{2+}) (Morsy *et al.*, 2011). Hal ini menyebabkan berkurangnya area permukaan yang tersedia untuk berikatan dengan ion logam kadmium sehingga mengakibatkan rendahnya kapasitas remediasi. Selain itu, kompetisi antara ion kadmium dan proton mengakibatkan peluang pengikatan ion kadmium oleh *N. commune* cenderung rendah sehingga efisiensinya juga menurun. Selain itu pada pH rendah juga terjadi reaksi hidrolitik yang mengakibatkan berubahnya komponen sel dan terganggunya proses metabolisme sel (Ramdhan & Handjani, 2008). pH lingkungan yang asam dapat menyebabkan denaturasi enzim dan protein penyusun dinding sel, mengganggu proses pompa ion pada membran sel (Black, 2008). Hal tersebut dimungkinkan juga mempengaruhi proses remediasi, sehingga penyerapannya menjadi tidak optimum.

Penyerapan optimum terjadi pada pH 8 dengan efisiensi penyerapan terting-

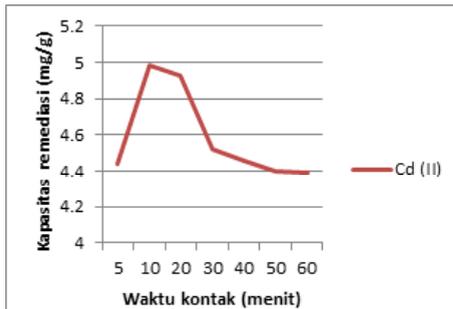
gi, yaitu 70,98% dan kapasitas penyerapan tertinggi 7,098 mg/g. Hal ini dikarenakan pH 8 adalah rentang pH pertumbuhan optimum untuk pertumbuhan *N. commune*. Pada pH 8, kondisi lingkungan adalah normal sedikit basa. Dalam pH sedikit basa ini, ikatan pada permukaan fikoremediator akan terdeprotonisasi (muatan negatif) yang akan menimbulkan sisi-sisi aktif baru yang dapat berikatan dengan ion logam (Komari dkk., 2007). Namun demikian, pada pH 9 efisiensi dan kapasitas remediasi mengalami penurunan menjadi 12,19% dengan kapasitas penyerapan 1,219 mg/g. Hal ini dikarenakan pada pH basa, ion logam akan terpresipitasi dan membentuk endapan hidroksida sehingga kelarutannya pada larutan akan berkurang.

Pengaruh Lama Waktu Kontak Larutan Terhadap Remediasi Logam Berat Kadmium (Cd (II)) oleh *Nostoc commune*

Penentuan pengaruh waktu kontak bertujuan untuk mengetahui waktu paling optimal *N. commune* dalam meremediasi logam kadmium. Hasil pengujian pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi ion logam berat kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune* di sajikan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Efisiensi Remediasi Cd (II) oleh *N. commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan Waktu Kontak (Volume 20 mL, Konsentrasi 100 mg/L, Massa *N. commune* 0,2 gram).



Gambar 4. Kapasitas Remediasi Cd (II) oleh *N. Commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan Waktu Kontak (Volume 20 mL, Konsentrasi 100 mg/L, Massa *N. commune* 0,2 gram).

Gambar diatas menunjukkan bahwa kurva efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi memiliki pola yang sama, yaitu remediasi ion logam kadmium meningkat pada 10 menit pertama yang selanjutnya mengalami penurunan secara berturut-turut hingga mendekati konstan di menit ke-60. Kenaikan efisiensi dari menit ke-5 sebesar 44,41% dengan kapasitas remediasi 4,441 mg/g menjadi 49,85% dengan kapasitas remediasi 4,985 mg/g di menit ke-10 menandakan bahwa remediasi ion kadmium terus bertambah dengan semakin bertambahnya waktu hingga suatu titik dimana seluruh gugus aktif menjadi jenuh oleh ion kadmium. Titik dimana gugus aktif menjadi jenuh oleh ion logam disebut waktu kontak optimum. Waktu kontak optimum terjadi pada 10 menit pertama, yaitu ketika remediasi ion kadmium mencapai titik maksimalnya dengan efisiensi remediasi paling besar yaitu 49,85% dan kapasitas remediasi terbesar yaitu 4,985 mg/g.

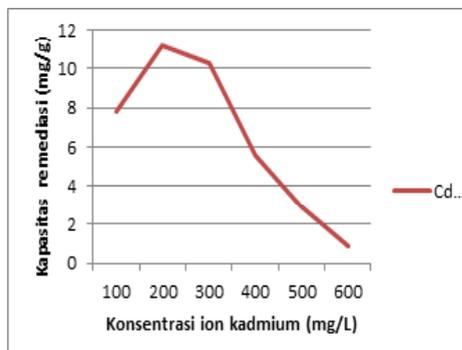
Waktu yang dibutuhkan oleh *N. commune* untuk meremediasi ion logam kadmium tergolong cukup singkat. Hal ini dikarenakan penyerapan ion kadmium oleh *N. commune* terjadi secara pasif. Menurut Prasetyawati (2009) dan Chen & Pan (2005) Tahap ini ion kadmium diserap langsung oleh permukaan sel dan EPS (*Extracellular Polymere Substance*) melalui

mekanisme *passive uptake* yang terjadi secara cepat. Ion logam kadmium mengikat dinding sel dengan dua cara yaitu: 1) Pertukaran ion monovalent dan divalent seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel yang digantikan oleh ion kadmium dan 2) terbentuknya formasi kompleks antara ion-ion logam kadmium dengan gugus fungsional seperti karbonil, karboksil, amino, sulfhidril, fospat, hidroksil dan fosfat yang berada pada dinding sel. Oleh karena seluruh gugus aktif menjadi jenuh oleh ion kadmium, maka efisiensinya remediasinya menjadi tinggi.

Namun demikian, setelah dicapai waktu optimumnya, secara berturut-turut terjadi penurunan efisiensi remediasi hingga mendekati konstan di menit ke-60. Hal ini menunjukkan bahwa ion logam kadmium yang sudah berikatan dengan permukaan sel *N. commune* ada yang terlepas kembali (desorpsi). Terlepasnya ion kadmium ini menunjukkan bahwa selain adsorpsi secara kimia (pertukaran ion dan pembentukan kompleks) terjadi juga adsorpsi secara fisika yang bersifat reversibel (mudah terlepas kembali). Menurut Lestari dkk. (2002), pada adsorpsi fisika, waktu kontak yang terlalu lama dapat menyebabkan terlepasnya kembali ion logam ke dalam larutan. Peningkatan waktu kontak yang melebihi keadaan setimbangnya dapat menyebabkan desorpsi. Hal ini dikarenakan setelah mencapai kondisi setimbang (10 menit), ikatan antara ion logam dengan adsorben (secara fisika) menjadi semakin lemah sehingga ion logam Cd (II) cenderung mempertahankan diri berada di dalam larutan (Widhiati dkk., 2012). Terlepasnya ion logam kadmium ke dalam larutan menyebabkan menurunnya efisiensi remediasi. Setelah kondisi optimum, kapasitas remediasi juga mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan kondisi jenuh yang telah dicapai sebelumnya dimana hampir seluruh permukaan *N. commune* berikatan dengan ion logam kadmium yang ada.

Pengaruh Konsentrasi Ion Kadmium Terhadap Remediasi Logam Berat Kadmium (Cd (II)) oleh *Nostoc commune*

Konsentrasi larutan ion logam berkaitan dengan ion logam yang dihasilkan, semakin tinggi konsentrasi suatu larutan maka semakin banyak pula ion logam yang terdapat dalam larutan. Jumlah ion logam yang ada di larutan tentunya akan mempengaruhi kemampuan penyerapan suatu fikoremediator terhadap ion logam itu sendiri. Hasil pengujian pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi ion logam berat kadmium oleh *N. commune* di sajikan pada Gambar 5 dan 6.

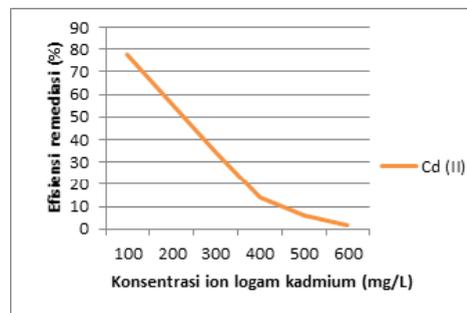


Gambar 5. Efisiensi Remediasi Cd (II) oleh *N. commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan Konsentrasi Larutan (Volume 20 mL, Massa *N. commune* 0,2 gram).

Pada Gambar dapat dilihat bahwa efisiensi remediasi semakin menurun seiring meningkatnya konsentrasi larutan kadmium. Hal ini menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi ion logam kadmium maka efisiensi penyerapan semakin menurun dikarenakan kemampuan penyerapan *N. commune* terhadap ion kadmium sudah maksimum. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa kapasitas serap maksimum *N. commune* telah tercapai pada konsentrasi 100 mg/L. Pada gambar 14 dapat dilihat bahwa kapasitas remediasi mengalami kenaikan pada konsentrasi 200

mg/L kemudian berturut-turut mengalami penurunan seiring bertambahnya konsentrasi larutan logam kadmium.

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kondisi optimum remediasi dicapai pada konsentrasi paling rendah yaitu 100 mg/L dengan efisiensi remediasi terbesar sebesar 77,72% dan kapasitas remediasi sebesar 7,772 mg/g. Menurut Ramadhan & Handjani (2010), proses remediasi berjalan baik pada konsentrasi pencemar yang tidak terlalu tinggi. Pada konsentrasi rendah, perbandingan jumlah ion logam yang lebih kecil menyebabkan permukaan sel (situs aktif) menjadi lebih luas (Yu *et al.*, 2003). Dengan semakin meningkatnya



Gambar 6. Kapasitas Remediasi Cd (II) oleh *N. commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan Konsentrasi Larutan (Volume 20 mL, Massa *N. commune* 0,2 gram).

konsentrasi, efisiensi remediasinya menjadi berkurang. Hal ini dikarenakan jumlah ion logam kadmium tidak sebanding dengan jumlah sisi aktif yang tersedia pada *N. commune* sehingga remediasi oleh *N. commune* mencapai titik jenuh. Pada saat mencapai titik jenuh jumlah ion kadmium yang teremediasi oleh *N. commune* akan tetapi sesuai kapasitas remediasinya per gram sel. Oleh karena itu semakin tinggi konsentrasi ion logam kadmium, maka efisiensi remediasinya juga semakin rendah karena kondisi sel yang jenuh.

Menurut Nurhasni dkk. (2013)

pada permukaan adsorben yang telah jenuh oleh ion logam, maka penambahan konsentrasi tidak lagi dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dari adsorben tersebut. Oleh karena itu pada konsentrasi lebih dari 100 mg/L remediasi logam kadmium mengalami penurunan. Hal ini ditunjukkan pada konsentrasi 200 mg/L ke atas efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi terus mengalami penurunan. Menurut Wijayanti (2009) dalam Nurhasni dkk. (2013) pada permukaan adsorben yang telah jenuh atau mendekati jenuh terhadap adsorbat, maka dapat terjadi 2 hal yaitu:

Terbentuk lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya diatas adsorbat yang telah terikat di permukaan, gejala ini disebut adsorpsi multilayer.

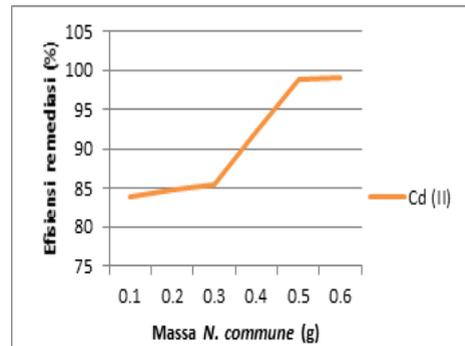
Tidak terbentuk lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida.

Oleh karena itu pada kondisi jenuh, dimana hampir seluruh permukaan *N. commune* berikatan dengan ion logam kadmium yang ada terjadi penurunan ion logam berat yang terserap. Hal ini yang kemungkinan terjadi karena adanya proses pelepasan kembali ion logam yang teradsorpsi (desorpsi). Proses desorpsi dapat terjadi pada saat setelah mencapai kondisi setimbang (100 mg/L), dimana ikatan antara ion logam dengan fikoremediator *N. commune* (secara fisika) menjadi semakin lemah sehingga ion logam kadmium dengan mudah terlepas kembali ke dalam larutan (Widihati, dkk., 2012).

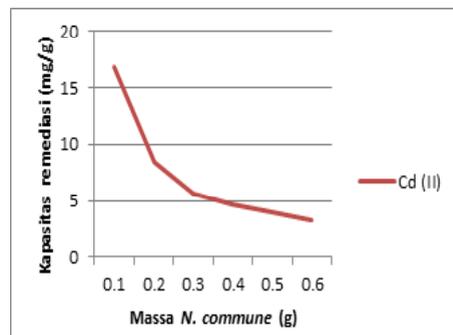
Pengaruh Massa Fikoremediator Terhadap Remediasi Logam Berat Kadmium (Cd (II)) oleh *Nostoc commune*

Massa fikoremediator merupakan salah satu faktor yang tak kalah penting mempengaruhi proses remediasi, sebab massa fikoremediator berkaitan dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada permukaan sel *N. commune* untuk meremedi-

asi ion logam kadmium. Semakin banyak massa fikoremediator maka semakin banyak pula situs aktif yang dapat digunakan untuk meremediasi ion logam kadmium. Hasil pengujian pengaruh massa *N. commune* terhadap efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi ion logam berat kadmium oleh *N. commune* di sajikan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Efisiensi Remediasi Cd (II) oleh *N. commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan Massa Fikoremediator (Volume 20 mL, Konsentrasi Ion Kadmium 100 mg/L).



Gambar 8. Kapasitas Remediasi Cd (II) oleh *N. commune* Sebagai Fungsi dari Perubahan Massa Fikoremediator (Volume 20 mL, Konsentrasi Ion Kadmium 100 mg/L).

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin banyak massa *N. commune* yang digunakan maka semakin besar pula efisiensi remediasinya terhadap ion logam

kadmium, sedangkan pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa kapasitas remedasi ion logam kadmium semakin menurun seiring kenaikan massa *N. commune* yang digunakan. Remediasi ion logam kadmium terjadi secara optimal pada massa fikoremediator 0,6 gram dengan efisiensi remediasi sebesar 98,94% dan kapasitas remediasi sebesar 3,29 mg/g.

Semakin besar massa fikoremediator maka semakin besar pula efisiensi remediasinya. Hal ini dikarenakan semakin bertambah massa fikoremediator maka semakin bertambah pula jumlah partikel dan luas permukaan *N. commune* sehingga menambah sisi aktif adsorpsi. Semakin banyak sisi aktif adsorpsi, maka semakin tinggi pula ion kadmium yang dapat diremediasi. Akibatnya efisiensi remediasinya pun semakin meningkat. Efisiensi remediasi ion logam kadmium tertinggi diperoleh pada massa *N. commune* 0,6 gram, yaitu sebesar 98,94%. Dengan massa *N. commune* sebanyak 0,6 gram, hampir diperoleh penyerapan ion kadmium dengan konsentrasi 100 mg/L secara sempurna (mendekati 100%).

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin banyak massa *N. commune* yang digunakan maka semakin rendah pula kapasitas remediasinya terhadap ion logam

dengan kenaikan efisiensi remediasi dan penurunan kapasitas remediasi. Penurunan kapasitas remediasi dikarenakan terjadi kenaikan sisi aktif, sehingga akan meningkatkan penyebaran ion logam kadmium. Penyebaran adsorpsi ion logam kadmium menyebabkan kapasitas adsorpsi per gram *N. commune* mengalami penurunan.

Efisiensi Remediasi Dan Kapasitas Remediasi Nostoc commune Terhadap Logam Berat Kadmium (Cd (II)) Pada Kondisi Optimum

Penentuan kapasitas adsorpsi dan efisiensi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan remediasi *N. commune* terhadap ion logam kadmium pada kondisi optimal. Pada tahap ini digunakan kondisi optimal pada tiap parameter. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pH larutan optimal adalah pH 8, waktu kontak optimal yaitu 10 menit, konsentrasi ion logam kadmium optimal sebesar 100 mg/L dan massa *N. commune* optimal yaitu sebesar 0,6 gram. Hasil perhitungan efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa efisiensi remediasi *N. commune* terhadap ion logam kadmium adalah sebesar 98,92%. Efisiensi adsorpsi menunjukkan besarnya konsentrasi ion logam kadmium yang diremediasi oleh *N. commune*. Nilai efisiensi adsorpsi

Tabel 1. Nilai Efisiensi Dan Kapasitas Remediasi N. Commune Terhadap Logam Berat Kadmium (Cd (II)).

Ulangan	Efisiensi remediasi (%)	Kapasitas Remediasi (mg/g)
1	98,94	3,298
2	98,97	3,299
3	98,84	3,294
Rata-rata	98,92	3,927

kadmium. Penurunan kapasitas remediasi berturut-turut adalah sebagai berikut: 16,802 mg/g; 8,474 mg/g; 5,702,6 mg/g; 4,603 mg/g; 3,951 mg/g; dan 3,298 mg/g. Menurut Baros *et al.* (2003) tiap peningkatan massa fikoremediator, selalu diikuti

ditentukan oleh perubahan konsentrasi ion logam kadmium setelah diremediasi oleh *N. commune*. Nilai efisiensi 98,92% menunjukkan bahwa *N. commune* dengan massa 0,6 gram mampu menyerap ion logam kadmium sebesar 98,92% dari larutan logam kadmium. Dari besarnya efisiensi

remediasi diketahui bahwa *N. commune* dengan massa 0,6 gram mampu menyerap ion logam kadmium dengan baik. Hal ini dapat terjadi karena ion logam kadmium berikatan dengan kuat sehingga terjadi pembentukan kompleks antara ion logam kadmium dengan gugus fungsi pada dinding adsorben yang bertindak sebagai ligan saat remediasi berlangsung dan pembentukan kompleks tersebut bersifat stabil. Pengikatan ini melibatkan interaksi elektrostatik antara gugus bermuatan negatif pada dinding sel dan kation logam (Apriliani, 2010).

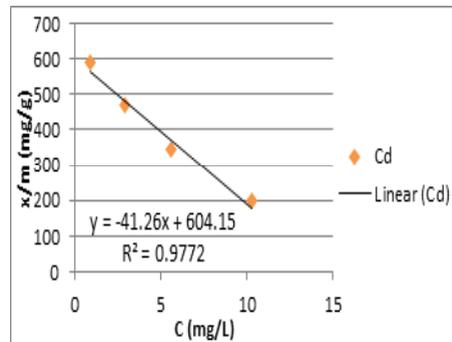
Tabel 1 juga menunjukkan bahwa *N. commune* memiliki kapasitas adsorpsi ion logam kadmium sebesar 3,927 mg/g. Kapasitas adsorpsi menunjukkan besarnya ion logam yang mampu diremediasi oleh per gram *N. commune*. Nilai kapasitas remediasi sangat dipengaruhi oleh massa *N. commune*. Semakin banyak massa *N. commune* yang digunakan maka semakin banyak pula ion logam yang dapat diremediasi. Namun demikian menurut penelitian Baros *et al.* (2003), kenaikan massa fikoremediator selalu diikuti dengan tingginya efisiensi remediasi dan rendahnya kapasitas remediasi. Hal ini dikarenakan, semakin banyak massa *N. commune* yang digunakan maka semakin bertambah sisi aktif dan meningkatkan penyebaran ion logam kadmium. Penyebaran adsorpsi ion logam kadmium menyebabkan kapasitas adsorpsi per gram *N. commune* tidak maksimal dan nilai kapasitasnya menjadi menurun.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

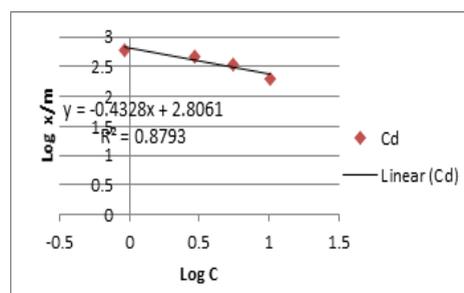
Isoterm adsorpsi adalah hubungan yang menunjukkan distribusi adsorben antara fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan fasa ruah saat kesetimbangan pada temperatur tertentu (Diantariani dkk., 2008). Penentuan tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui tipe adsorpsi yang terjadi pada *N. commune*. Menurut Atkins (1999), adsorpsi pada fase

padat-cair umumnya menganut tipe isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

Penentuan isoterm adsorpsi pada penelitian ini digunakan *N. commune* sebanyak 0,2 gram untuk mengabsorpsi kadmium konsentrasi 100 – 600 mg/L pada kondisi optimum (pH 8 dan waktu kontak 10 menit). Menurut Handayani & Sulistiyono (2009) Penentuan model isoterm adsorpsi ini dibuktikan dengan grafik linierisasi yang baik dan mempunyai harga $R^2 \geq 0,9$ (mendekati angka 1). Isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich *N. commune* terhadap logam berat kadmium disajikan pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Isoterm Langmuir Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune*



Gambar 10. Isoterm Freundlich Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune*

Gambar 9 menunjukkan grafik isoterm Langmuir. Terlihat bahwa grafik yang diperoleh adalah grafik linier dengan

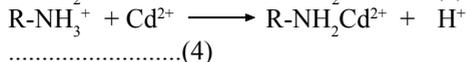
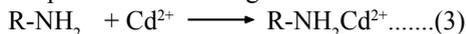
nilai korelasi (R^2) sebesar 0,977. Gambar 10 menunjukkan grafik isoterm Freundlich yang merupakan grafik linier dengan nilai korelasi (R^2) sebesar 0,879. Dari kedua grafik tersebut diketahui bahwa nilai korelasi pada isoterm Langmuir lebih mendekati 1 ($\geq 0,90$) yaitu sebesar 0,977. Hal ini menunjukkan bahwa data-data yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan model kesetimbangan adsorpsi Langmuir oleh karena itu dapat dikatakan bahwa persamaan adsorpsi ion Cd (II) oleh *N. commune* memenuhi persamaan adsorpsi Langmuir.

Isoterm Langmuir adalah model adsorpsi yang menggunakan asumsi bahwa permukaan adsorben mempunyai sejumlah situs aktif. Setiap situs aktif dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat dan apabila setiap situs aktif telah mengadsorpsi adsorbat maka adsorben sudah tidak dapat mengadsorpsi lagi. Apabila suatu adsorpsi menganut tipe adsorpsi Langmuir maka adsorpsi berlangsung secara kimisorpsi monolayer. Namun jika adsorpsi menganut tipe adsorpsi Freundlich maka adsorpsi berlangsung secara Fisisorpsi multilayer. Adsorpsi kimisorpsi merupakan proses adsorpsi secara kimia yang terjadi karena adanya interaksi antara situs aktif adsorben dengan adsorbat yang melibatkan ikatan kimia. Ikatan kimia ini hanya terjadi pada lapisan penyerapan tunggal (*monolayer adsorption*) permukaan sel adsorben (Apriliani, 2010; Purwaningsih, 2009).

Pada *N. commune* pengikatan ion Cd (II) pada permukaan sel adsorben dapat terjadi melalui 2 cara yaitu pengikatan secara langsung oleh permukaan sel dan kapsul *N. commune* atau EPS (*Extracellular Polymere Substance*) yang berupa gelatin. Berdasarkan hasil uji *Spectofotometer Fourier Infra Red* pada penelitian Hariyanto & Sambudi (2010) diketahui bahwa gelatin tersusun dari gugus amina ($-NH_2$) dan gugus hidroksil ($-OH$). Atom N dari gugus amina dan atom O dari gugus

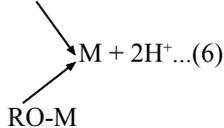
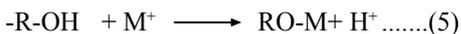
hidroksil inilah yang berperan sebagai situs aktif pengikat ion logam. Hal ini disebabkan karena kedua atom tersebut memiliki elektron bebas yang dapat mengikat proton atau ion logam membentuk suatu kompleks (Laksono, 2008).

Menurut Laksono (2008) mekanisme adsorpsi yang terjadi pada antara gugus NH_2 dengan ion logam kadmium yang bermuatan positif adalah sebagai berikut:



R adalah matriks tempat NH_2 terikat, NH_2 adalah gugus amina dan Cd^{2+} adalah ion logam berat kadmium. Ketika reaksi (3) berlangsung elektron bebas dari atom N berinteraksi dengan ion logam. Reaksi (4) memiliki mekanisme yang sama dengan reaksi (3), meskipun gugus NH_2 sudah berubah menjadi positif akibat menerima ion H^+ dari lingkungan dengan pH asam (protonisasi gugus amino). Interaksi antara ion logam dengan atom N pada reaksi (3) lebih kuat daripada ikatan ion H^+ dengan atom N pada reaksi (4). Hal ini disebabkan kekuatan interaksi elektrostatis antara pasangan elektron bebas dari atom N dengan ion polivalen lebih kuat daripada interaksi elektrostatis antara pasangan elektron bebas dari atom N dengan proton monovalen (H^+) (Laksono, 2008). Sementara itu, pengikatan ion logam berat pada permukaan sel algae terjadi melalui mekanisme pembentukan kompleks antara ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karboksil, amino, sulfhidril, hidroksil dan fosfat yang ada pada permukaan dinding sel.

Menurut Apriliani (2010) mekanisme mekanisme adsorpsi yang terjadi pada antara gugus OH dengan ion logam yang bermuatan positif adalah sebagai berikut:



R adalah matriks tempat OH terikat, OH adalah gugus hidroksil dan M adalah ion logam berat. Pada reaksi (5) gugus OH pada pH asam akan mengalami deprotonisasi menjadi RO⁻ (bermuatan negatif). RO⁻ yang terbentuk dapat berikatan dengan ion logam yang bermuatan positif. Reaksi (6) menunjukkan bahwa gugus -OH pada permukaan dapat juga membentuk kluster pada permukaan.

Berdasarkan hasil penentuan isoterm adsorpsi, diketahui bahwa proses penyerapan ion Cd (II) oleh *N. commune* paling kuat terjadi secara kimisorpsi monolayer, yaitu proses pengikatan ion Cd (II) secara *rapid stage*, dimana ion logam berat terikat pada permukaan sel melalui mekanisme pembentukan kompleks, terjadi lebih kuat/lebih dominan dibanding dengan proses *slow stage*, dimana logam berat terdistribusi secara interseluler dan terakumulasi sebagai granula interseluler. Pengikatan ion Cd (II) secara kimisorpsi pada sisi-sisi aktif permukaan sel *N. commune* secara monolayer menyebabkan sel algae ini menjadi cepat jenuh dalam mengadsorpsi ion logam berat. Hal ini menyebabkan sel *N. commune* lebih sedikit dalam menyerap ion Cd (II) dibandingkan jika proses fisiorpsi multilayer yang lebih kuat/dominan, akibatnya kapasitas remediasinya menjadi lebih kecil. Hal ini dibuktikan dengan penelitian Morsy *et al.*, (2011), dimana proses adsorpsi ion Cd (II) oleh *N. commune* kering (mati) yang menganut tipe isoterm Freundlich memiliki kapasitas penyerapan lebih besar, yaitu sebesar 126,32 mg/g, sementara pada penelitian ini yang menggunakan *N. commune* segar yang menganut tipe isoterm Langmuir hanya memiliki kapasitas penyerapan sebesar

3,927 mg/g. Hal ini dikarenakan pada penggunaan *N. commune* kering proses fisiorpsi multilayer yaitu proses adsorpsi secara fisika yang dapat terjadi secara multilayer terjadi lebih dominan sehingga sel *N. commune* dapat menyerap ion Cd (II) lebih banyak dibanding pada adsorpsi kimia yang terjadi secara monolayer.

Pengaruh Ion Logam Kadmium Terhadap Koloni dan Struktur Morfologi Sel *Nostoc commune*

Nilai pH, lama waktu kontak, konsentrasi larutan logam kadmium dan massa fikoremediator merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi remediasi logam kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune*. Nilai pH memiliki peran penting untuk pertumbuhan *N. commune* sebab spesies ini hanya mampu hidup optimal pada pH netral (pH 6 – 7) dan tidak dapat hidup pada pH terlalu asam (dibawah pH 4) (Whitton & Potts, 2000; Wahyudewi, 2009).

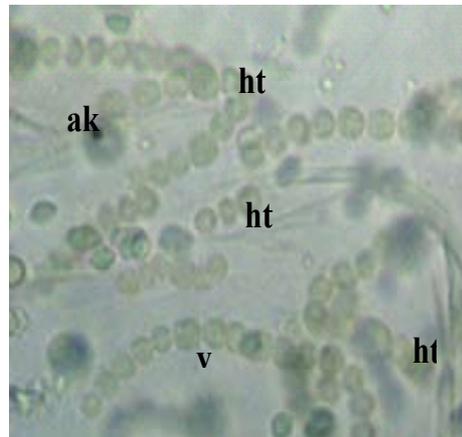
Berdasarkan hasil fotomikroskopi diketahui bahwa pada variasi nilai pH, lama waktu kontak, dan massa fikoremediator tidak terjadi perubahan pada struktur morfologi sel *N. commune*. Trikoma *N. commune* tersusun dari sel vegetatif berbetuk bulat berwarna hijau yang tersusun rapat antar selnya, dengan heterokis yang berwarna lebih jernih yang berada di antara sel vegetatif atau di ujung trikoma. Keberadaan sel akinet hanya ditemukan sedikit sekali pada preparat ini. Akinet yang sedikit atau bahkan tidak ditemukan dalam preparat kemungkinan dikarenakan akinet telah berkecambah menjadi filamen baru selama proses rehidrasi. Tidak ditemukannya akinet selama proses remediasi tidak berdampak secara langsung pada proses remediasi, sebab akinet hanya berperan sebagai spora istirahat pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan.

Pada preparat berbagai variasi variasi nilai pH, lama waktu kontak, dan massa

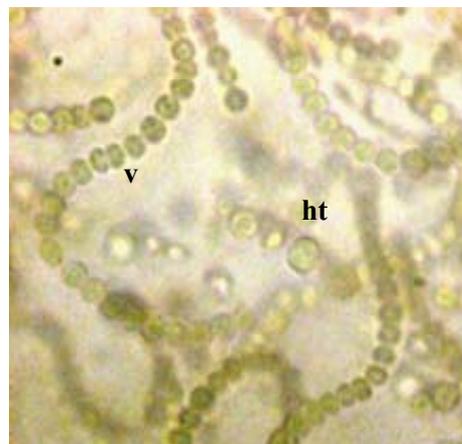
fikoremediator tidak ditemukan kerusakan sel *N. commune* berupa nekrosis sel vegetatif. Menurut Lu (1997), degenerasi merupakan kerusakan reversibel, yaitu sel dapat kembali normal apabila penyebabnya dapat diatasi. Kerusakan ini disebabkan karena sel tidak mampu mempertahankan homeostasis ionik dan cairan dalam sel. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya akumulasi air di dalam sel sehingga sel tampak membengkak. Nekrosis merupakan kematian sel yang dikarenakan adanya paparan agen toksik dalam jumlah yang tidak dapat ditolerir oleh sel. Hal tersebut mengakibatkan penghancuran sel (lisis). Nekrosis merupakan kerusakan sel yang bersifat ireversibel atau tidak dapat balik (Kumar & Robbins 2007). Dari penjelasan di atas diketahui bahwa tidak terjadi perubahan atau kerusakan struktur morfologi sel *N. commune* pada variasi nilai pH, lama waktu kontak, dan massa fikoremediator. Hal ini menunjukkan bahwa tidak adanya peran kerusakan sel yang menurunkan kemampuan remediasi ion logam kadmium pada faktor-faktor tersebut. Dengan demikian kemampuan remediasi *N. commune* tergantung seutuhnya pada pengikatan ion logam kadmium dengan sisi aktif dari *N. commune*.

Pada berbagai variasi lama waktu kontak, dan massa fikoremediator koloni *N. commune* tampak berwarna hijau. Tidak terjadi perubahan warna koloni *N. commune* setelah terpapar larutan kadmium. Warna koloni *N. commune* yang terpapar logam kadmium konsentrasi 100 mg/L tetap berwarna hijau sama seperti warna *N. commune* yang tidak terpapar logam kadmium (Cd (II)) (Kontrol). Namun demikian, terjadi perubahan warna koloni pada variasi nilai pH, dimana koloni *N. commune* mengalami perubahan warna dari hijau menjadi berwarna agak kecoklatan pada pH 4, 5, dan 6. Hal ini disebabkan bahwa pH asam terjadi reaksi hidrolitik yang mengakibatkan degradasi klorofil dan membentuk

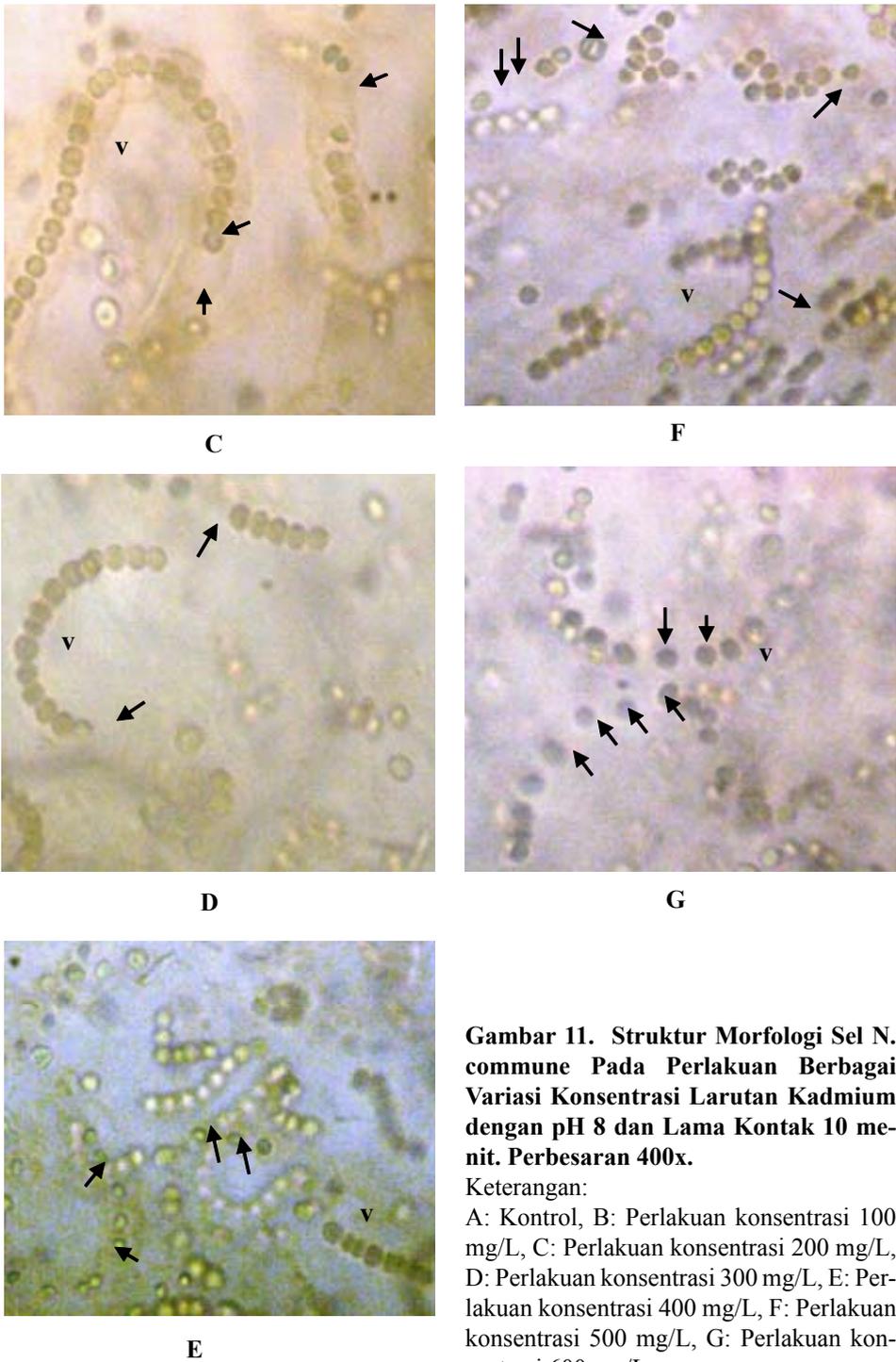
warna coklat (*phaeophytin*) (Ramdhan dan Handjani, 2008). Koloni *N. commune* yang berwarna hijau dan tidak adanya kerusakan sel pada pH 7-9 menandakan bahwa pH 7-9 merupakan rentang pH dimana *N. commune* dapat hidup dengan optimal. Dengan demikian diketahui bahwa variasi lama waktu kontak dan massa fikoremediator dengan larutan kadmium konsentrasi 100 mg/L pada pH 8 tidak mempengaruhi perubahan warna koloni *N. commune*. Sedangkan, variasi nilai pH larutan perubahan pH larutan dapat mempengaruhi perubahan warna koloni *N. commune*.



A



B



Gambar 11. Struktur Morfologi Sel *N. commune* Pada Perlakuan Berbagai Variasi Konsentrasi Larutan Kadmium dengan pH 8 dan Lama Kontak 10 menit. Perbesaran 400x.

Keterangan:

A: Kontrol, B: Perlakuan konsentrasi 100 mg/L, C: Perlakuan konsentrasi 200 mg/L, D: Perlakuan konsentrasi 300 mg/L, E: Perlakuan konsentrasi 400 mg/L, F: Perlakuan konsentrasi 500 mg/L, G: Perlakuan konsentrasi 600 mg/L

ht: heterokis, v: sel vegetatif, ak: akinet.



A



D



B



E



C



F



G

Gambar 12. Perubahan Warna Koloni *N. commune* Pada Perlakuan Berbagai Variasi Konsentrasi Larutan Kadmium dengan pH 8 dan Lama Kontak 10 menit.

Keterangan:

A: Kontrol, B: Perlakuan konsentrasi 100 mg/L, C: Perlakuan konsentrasi 200 mg/L, D: Perlakuan konsentrasi 300 mg/L, E: Perlakuan konsentrasi 400 mg/L, F: Perlakuan konsentrasi 500 mg/L, G: Perlakuan konsentrasi 600 mg/L

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa struktur anatomi sel *N. commune* mulai mengalami kerusakan dimulai pada konsentrasi 200 mg/L. Pada konsentrasi 100 mg/L dapat dilihat bahwa trikoma *N. commune* masih tersusun dari sel-sel vegetatif berbentuk bulat dan tersusun rapat dengan sel heterokis yang berada diantaranya. Trikoma berbentuk filamen. Kondisi ini menunjukkan bahwa ion logam konsentrasi 100 mg/L masih mampu ditoleransi oleh *N. commune*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rai *et.al.* (1990) yang menyatakan logam berat akan bersifat toksik pada algae jika terdapat dalam konsentrasi yang tinggi. Namun, pada konsentrasi rendah, logam berat akan ditoleransi oleh algae.

Dari gambar 12 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan warna koloni *N. commune* dari hijau menjadi coklat pada paparan logam berat kadmium konsentrasi 300 mg/L– 600

mg/L. Paparan logam kadmium konsentrasi 100 mg/L dan 200 mg/L tidak menyebabkan perubahan warna koloni *N. commune*. Perubahan warna koloni *N. commune* disebabkan karena berkurangnya pigmen klorofil pada sel. Menurut Rai *et al.* (1990), Semakin meningkatnya konsentrasi logam berat kadmium akan menyebabkan semakin menurunnya jumlah klorofil pada sel. Toksisitas kadmium menyebabkan lisisnya dinding sel dan kerusakan pada membran tilakoid sehingga berakibat pada degradasi pigmen klorofil. Menurut Ramdhan dan Handjani (2008), degradasi klorofil akan menyebabkan pembentukan warna coklat (*phaeophytin*). Hal ini disebabkan karena terlepasnya Mg dari struktur klorofil sebagai akibat toksisitas dari logam kadmium. Jika mengandung atom Mg maka klorofil akan berwarna hijau, sedangkan yang tidak memiliki ion Mg akan berwarna cokelat seperti minyak zaitun. Dengan demikian dapat diketahui bahwa paparan konsentrasi logam kadmium memberikan pengaruh perubahan warna koloni *N. commune*.

Perubahan warna dan tingkat kekenyalan koloni dapat digunakan untuk membedakan *N. commune* yang telah terpapar logam kadmium dengan konsentrasi tinggi dengan yang belum terpapar. Koloni *N. commune* yang terpapar logam berat kadmium secara umum lebih lunak sehingga mudah sobek dan pada konsentrasi yang sangat tinggi dapat terjadi perubahan warna koloni menjadi cokelat terang hingga cokelat gelap. Sementara itu, pada *N. commune* yang tidak terpapar logam kadmium memiliki koloni yang berwarna hijau segar, kenyal dan tidak mudah sobek. Deskripsi untuk membedakan koloni *N. commune* yang telah terpapar logam dan yang belum terpapar logam berat kadmium menjadi penting sebab *N. commune* juga sering dimanfaatkan sebagai bahan makanan.

Menurut Rai *et al.* (1990), logam berat seperti kadmium apabila terdapat da-

lam konsentrasi tinggi akan menghambat pertumbuhan algae dengan menghambat proses fotosintesis, proses fiksasi nitrogen dan proses pengambilan nutrisi. Toksisitas kadmium pada algae terjadi pada membran sel, dimana ion logam kadmium akan teradsorpsi ke dalam sel menggantikan ion K^+ . Hal ini menyebabkan terganggunya proses pompa ion Na^+/K^+ yang berakibat pada terganggunya homeostasis ionik dan cairan dalam sel. Terganggunya homeostasis ionik dapat menyebabkan pembengkakan seluler (degenerasi) sehingga mengakibatkan kerusakan membran sel. Berdasarkan hasil penelitian Rai *et al.* (1990), kerusakan membran sel akan meningkatkan permeabilitas membran sel sehingga menyebabkan ion logam akan lebih mudah masuk ke dalam

sel. Akibatnya ion logam yang bersifat toksis terakumulasi dalam sel dengan konsentrasi tinggi dan menyebabkan kematian sel. Hal ini didukung oleh pernyataan Kumar *et al.* (2007) bahwa kerusakan membran sel sebenarnya bersifat reversibel yaitu sel dapat kembali normal apabila penyebab degenerasinya dapat diatasi. Namun apabila penyebab degenerasi ini tidak dapat diatasi, dalam hal ini adalah ion logam kadmium yang dihilangkan, maka akan mengakibatkan kematian sel (nekrosis) (Burkit *et al.*, 1996).

Berdasarkan analisis diatas, kerusakan sel pada trikoma *N. commune* dapat digolongkan menjadi beberapa tingkatan sebagai berikut:

Tabel 2. Penggolongan Tingkat Kerusakan Trikoma *N. commune*

Tingkat	Deskripsi	Perlakuan
Normal	Trikoma berupa filamen yang tidak bercabang Trikoma tersusun rapat dari sel vegetatif yang berbentuk bulat dan berwarna hijau dengan akinet dan heterokis yang berada diantara atau diujungnya. Trikoma tersusun rapat	Kontrol dan Konsentrasi 100 mg/L
Tingkat 1	Trikoma berupa filamen yang tidak bercabang Trikoma tersusun dari sel-sel vegetatif yang berbentuk bulat berwarna hijau dengan akinet dan heterokis yang berada diantaranya atau diujungnya Terdapat sedikit sel vegetatif yang lisis/hancur sehingga trikoma tampak tersusun sedikit renggang.	Konsentrasi 200 mg/L

Tingkat 2	Trikoma berbentuk filamen yang tidak bercabang, dengan sedikit trikoma yang tersusun tidak beraturan. Trikoma terdiri dari sel-sel vegetatif yang berbentuk bulat berwarna hijau dengan akinet dan heterokis yang berada diantaranya atau diujungnya Terdapat sedikit sel vegetatif yang lisis/hancur sehingga trikoma tampak tersusun sedikit renggang.	Konsentrasi 300 mg/L
Tingkat 3	Trikoma sebagian berbentuk filamen yang tidak bercabang dan sebagian tersusun tidak beraturan. Trikoma terdiri dari sel-sel vegetatif yang berbentuk bulat berwarna hijau dengan akinet dan heterokis yang berada diantaranya atau diujungnya Terdapat sel vegetatif yang lisis/hancur dalam jumlah sedang, sehingga trikoma tampak tersusun renggang.	Konsentrasi 400 mg/L
Tingkat 4	Trikoma tersusun tidak beraturan dengan sedikit trikoma berbentuk filamen Trikoma terdiri dari sel-sel vegetatif yang berbentuk bulat berwarna kecoklatan dengan akinet dan heterokis yang berada diantaranya atau diujungnya Terdapat sel vegetatif yang lisis/hancur dalam jumlah sedang, sehingga trikoma tampak tersusun renggang.	Konsentrasi 500 mg/L
Tingkat 5	Trikoma tersusun tidak beraturan Trikoma terdiri dari sel-sel vegetatif yang berbentuk bulat berwarna coklat dengan akinet dan heterokis yang berada diantaranya atau diujungnya Terdapat sel vegetatif yang lisis/hancur dalam jumlah banyak, sehingga trikoma tampak seperti berlepasan	Konsentrasi 600 mg/L

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa, pada *N. commune* yang terpapar logam kadmium pada konsentrasi 100 mg/L masih tergolong normal. Hal ini disebabkan deskripsi trikoma pada konsentrasi ini sesuai dengan deskripsi morfologi sel yang normal. *N. commune* yang terpapar logam kadmium pada konsentrasi 200 mg/L men-

galami kerusakan sel tingkat 1. *N. commune* yang terpapar logam kadmium pada konsentrasi 300 mg/L mengalami kerusakan sel tingkat 2. *N. commune* yang terpapar logam kadmium pada konsentrasi 400 mg/L mengalami kerusakan sel tingkat 3. *N. commune* yang terpapar logam kadmium pada konsentrasi 500 mg/L mengalami

kerusakan sel tingkat 4. *N. commune* yang terpapar logam kadmium pada konsentrasi 600 mg/L mengalami kerusakan sel tingkat 5.

Dengan demikian, diketahui bahwa pada konsentrasi ion logam kadmium yang semakin tinggi, maka kerusakan sel yang terjadi juga semakin tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan tingkat kerusakan yang semakin tinggi terhadap paparan logam berat kadmium pada konsentrasi yang semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan kapasitas remediasinya, yaitu pada konsentrasi ion logam yang semakin tinggi maka kapasitas remediasi mengalami penurunan. Penurunan kapasitas remediasi disebabkan karena berkurangnya sisi aktif dari permukaan *N. commune* karena kerusakan sel yang terjadi. Hal ini menyebabkan semakin banyak ion logam kadmium yang tidak dapat diremediasi, akibatnya jumlah ion kadmium yang ditemukan pada fase ruah sangat tinggi.

Kesimpulan

Kondisi optimal remediasi ion logam kadmium oleh *N. commune* Vaucher Ex Bornet & Flahault diperoleh pada pH 8, waktu kontak 10 menit, konsentrasi ion logam kadmium sebesar 100 mg/L dan massa *N. commune* sebanyak 0,6 gram.

Jamur Selo (Koloni *N. commune* Vaucher ex Bornet & Flahault) segar memiliki kemampuan yang baik dalam meremediasi logam ion kadmium yang ditandai dengan nilai efisiensi remediasi sebesar 98,92% dan kapasitas remediasi sebesar 3,927 mg/g. Proses adsorpsi logam berat kadmium (Cd (II)) oleh *N. commune* Vaucher ex Bornet & Flahault segar memenuhi persamaan Isoterm adsorpsi Langmuir dengan persamaan $Y = -41,26x + 604,1$.

Struktur morfologi sel *N. commune* tidak menunjukkan kerusakan setelah terpapar logam berat kadmium (Cd (II)) pada konsentrasi 100 mg/L dengan

berbagai variasi pH, waktu kontak, dan massa fikoremediator. Namun demikian, struktur morfologi sel *N. commune* menunjukkan kerusakan berupa nekrosis sel vegetatif setelah terpapar logam kadmium dengan konsentrasi tinggi yaitu 200 mg/L – 600 mg/L yang juga ditandai dengan perubahan koloni dari warna hijau menjadi coklat (Gambar 11 – 12).

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai klasifikasi *Nostoc commune* Vaucher Ex Bornet & Flahault secara molekuler.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kandungan logam berat kadmium (Cd (II)) pada sel *N. commune* dengan metode FAAS.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai peningkatan konsentrasi ion Cd (II) terhadap kerusakan struktur sel *N. commune* yang ditinjau dari segi histologi sel.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai aplikasi potensi *N. commune* sebagai fikoremediator ion logam kadmium dalam limbah simulasi sebelum diaplikasikan pada limbah industri untuk mengetahui metode yang tepat untuk mengaplikasikan potensi *N. commune* sebagai fikoremediator logam berat kadmium.
5. Perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui efisiensi remediasi dan kapasitas remediasi *N. commune* Vaucher ex Bornet & Flahault terhadap logam-logam berat lainnya

Daftar Pustaka

- Apriliani, A. 2010. *Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu Dan Pb Dalam Air Limbah*. Skripsi. Program Studi Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta
- Arifin, B. 2003. *Suatu Tinjauan Adsorben Murah Untuk Menghilangkan*

- Logam Berat*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia. Hal 38-44.
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika 2*. Erlangga. Jakarta.
- Barros, J. L. M., G. R. Maedo, M. M. L. Duarte, E. P. Silva & Lobato. 2003. "Bisorbtion Cadmium Using The Fungus *Aspergillus niger*. Braz". *Journal of Chemistry*, Vol 20. Pp. 1-17.
- Black, J. G. 2008. *Microbiology*. 7th edition. John Willey & sons, Inc. Asia.
- Chen, H., Pan, C. 2005. "Bio Remediation Potential Of Spirulina: Toxicity And Biosorption Studies Of Lead". *Journal of Zhejiang University*. 6(3):171-174.
- Diantariani, N. P., I. W. Sudiarta, & N. K. Elantiani. 2008. "Proses Biosorpsi dan Desorpsi Ion Cr (VI) Pada Biosorben Rumput Laut *Eucheuma spinosum*". *Jurnal Kimia*. Vol 2 (1). Pp. 45-52
- Handayani, M. & A. Sulistiyono. 2009. *Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, BATAN. Bandung, 3 Juni 2009.
- Hariyanto & Y. J. Sambudi. 2010. *Pembuatan Gelatin Dari Tulang Ikan Air Tawar*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Komari, N., A. Irwan & E. Susilawati. 2007. "Kajian Adsorpsi Cu(II) Dengan Biomassa Hydrilla verticillata Teraktivasi". *Jurnal Sains MIPA*, 13(1). Hal. 37-42
- Kumar, V., R. S. Cotran & S. L. Robbins. 2007. *Buku Ajar Patologi Robbins. Edidi 7. Jilid 1*. Penerbit buku kedokteran EGC. Jakarta.
- Laksono, E. W. 2008. *Kajian Terhadap Aplikasi Kitosan Sebagai Adsorben Ion Logam Dalam Limbah Cair*. Prosiding Seminar Nasional "Peran Kimia dan Pendidikan Kimi di Era Global Menuju Penelitian dan Pendidikan Berkualitas". UNY, Yogyakarta pada 25 Oktober 2008.
- Lee, R.E. 1989. *Phycology 2nd ed*. Cambridge University Press. Cambridge. USA. pp: 55 – 93.
- Lestari, S., E. Sugiharto & Mudjiran. 2002. "Pengaruh Lama dan Kondisi Penyimpanan Biomassa Terhadap Biosorpsi Timbal (II) dan Seng(II) oleh Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*". *Chem*, 2. Pp. 11-14.
- Lu F.C. 2006. *Toksikologi Dasar*. UI-Presss. Jakarta.
- Morsy, F. M., S. H. A. Hassan, & M. Kouttb. 2011. "Biosorption of Cd (II) and Zn (II) by *Nostoc commune*: Isotherm and Kinetics studies". *Clean-soil, air, water*. Volume 39 (7). Willey-VCH Verlag GmbH & Co: Weinhem. Pp. 680-687.
- Mujib, M. I. A. 2012. *Kadar Glukosa Dan Kolesterol Serum Tikus Putih (Rattus norvegicus Berkenhout, 1769) Galur Wistar Setelah Pemberian Jamur Selo (Koloni Nostoc commune Vaucher ex Bornet & Flahault) Per Oral*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Fakultas Biologi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Nurhasni, Hedrawati & N. Sanniyah. 2013. *Penyerapan Ion Logam Cd dan Cr Dalam Air Limbah Menggunakan Sekam Padi*. Jurnal online. <http://journal.uinjkt.ac.id/index.php/valensi/article/viewFile/244/159>
- Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Prasetyawati, E. T. 2009. *Bakteri Rhizosfer Sebagai Pereduksi Merkuri dan Agensi Hayati*. UPN Press. Surabaya. Pp. 8- 13
- Purwaningsih, D. 2009. "Adsorpsi Multi Logam Ag (I), pb (II), Cr (III), Cu

- (II), dan Ni (II) Pada Hibrida Etilendiamino-Silika dari Abu Sekam Padi”. *Jurnal Penelitian Saintek*, Vol 14 (1). Hal 59-76.
- Ramadhan, B & M. Handjani. 2008. *Biosorpsi Logam Berat Cr (IV) dengan Menggunakan Biomassa Saccharomyces cerevisiae*. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB. Bandung
- Sarjono, A. 2009. *Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, Dan Hg Pada Air Dan Edimen Di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Trainor, F. R. 1978. *Introductory phycology*. John Willey and sons. New York. USA. pp: 32 -66.
- Van Reine, W. F. P. and G. C. Trono. 2001.” Plant Resource of South East Asia”. *Cryptogams: Algae Backhuys*, Vol 15 (1). Publisher Leiden. Netherlands. pp: 230-233.
- Wahyudewi, G. 2009. *Identifikasi Jenis dan Karakterisasi Morfologi Algae HijauBiru Penyusun “Jamur Selo” Di Hutan Wanagama Gunung Kidul*. Seminar. Tidak dipublikasikan. Fakultas Biologi. Universitas GadjahMada. Yogyakarta.
- Widihati, I. A. G, D. A. Suastuti, & M. A. Y. Nirmalasari. 2012. “Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) Menggunakan Arang Batang Pisang (*Musa paradisiaca*)”. *Jurnal kimia Universitas Udayana*, 6(1). Pp. 8-16.
- Whitton, B. A & M. Potts. 2000. *The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publisher. London. Pp. 466-492.
- Yu, L. J., K. L. Dorris, A. Shukla & J.L. Margrve. 2003. “Adsorption of Chromium from Aqueous Solution by Maple Dust”. *Hazard Material*, Vol 100. Pp.53-63