

Reduksi Logam Berat Cd(II) dan Cr(IV) Pada Sistem Kontinyu Menggunakan *Phanerochaete chrysosporium* Yang Diradiasi Sinar Gamma

Heavy Metal Reduction of Cd (II) and Cr (IV) In Continuous System Using Gamma Rays Irradiated *Phanerochaete chrysosporium*

TRI RETNO D.L.¹⁾, NANA MULYANA.¹⁾ NURMAYA A.²⁾ DAN SISKA P.S.²⁾

¹⁾Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta 12440.

²⁾Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta 12240.
E-mail : tretno@batan.go.id

ABSTRACT

Heavy metal wastes of Cd (II) and Cr (IV) that are toxic dissolved into surface waters will increase the amount of metal ions in the water. Fungi biomass capable of absorbing heavy metal ions in significant quantities. The mechanism of heavy metals reduction using biosorption. Reduction of metal ions with continuous system will be more efficient for their continuous contact between the adsorbent and the solution. The treatment of low-dose gamma radiation in fungi *Phanerochaete chrysosporium* (*P. chrysosporium*) stimulates increased activity of the enzyme so that the resistance of fungi to heavy metal ions increases and metal bonding to be great. Fungi *P. chrysosporium* irradiated with gamma ray doses: 0, 250, 500, 750 and 1000 Gy. The process parameters were observed pH and fungal viability. Biosorption Metal Cd (II) and Cr (IV) in a continuous system consisting of: F0 (without *P. chrysosporium*), F1 (*P. chrysosporium* 0 Gy) and F2 (*P. chrysosporium* 750 Gy) with a retention time T1 = 3 hours, T2 = 6 hours, 9 hours and T3 = T4 = 12 hours as well as the flow rate of R1 = 32 ml / hour, R2 = 58 ml / hour and R3 = 204 ml / hour. Biosorption using the initial solution, each containing 50 ppm metal Cd (II) and Cr (IV) with a pH of 5.5. The results obtained showed that the metal biosorption of Cd (II) and Cr (IV) in a continuous system at treatment R3F2 optimal retention time T4 = 12 hours namely, providing Cd uptake of 5.96 mg/g and Cr uptake of 1.07 mg /g.

Keywords: *Phanerochaete chrysosporium*, gamma irradiation, cadmium, chromium, continuous system

ABSTRAK

Limbah logam berat Cd(II) dan Cr (IV) terlarut bersifat toksid dalam perairan akan meningkatkan jumlah ion logam di dalam air. Biomassa fungi mampu menyerap ion logam berat dalam jumlah signifikan. Mekanisme reduksi logam berat secara biosorpsi. Reduksi ion logam dengan sistem kontinyu lebih efisien karena adanya kontak kontinyu antara adsorben dan larutan. Perlakuan radiasi sinar gamma dosis rendah pada fungi *Phanerochaete chrysosporium* (*P. chrysosporium*) menstimulasi peningkatan aktivitas enzim sehingga ketahanan fungi terhadap ion logam berat meningkat dan pengikatan logam menjadi besar. Fungi *P. chrysosporium* diradiasi sinar gamma dengan dosis :0, 250, 500, 750 dan 1000 Gy. Parameter proses yang diamati meliputi pH dan viabilitas fungi. Biosorpsi Logam Cd(II) dan Cr(IV) di dalam sistem kontinyu terdiri dari: F0 (tanpa *P. chrysosporium*), F1 (*P. chrysosporium* 0 Gy) dan F2 (*P. chrysosporium* 750 Gy) dengan waktu retensi T1 = 3 jam, T2 = 6 jam, T3 = 9 jam dan T4 = 12 jam serta laju alir R1 = 32 ml/jam, R2 = 58 ml/jam dan R3 = 204 ml/jam. Biosorpsi menggunakan larutan awal mengandung masing-masing 50 ppm logam Cd(II) dan Cr(IV) dengan pH 5,5. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa biosorpsi logam Cd(II) dan Cr(IV) dalam sistem kontinyu optimal pada perlakuan R3F2 dengan waktu retensi T4 = 12 jam yakni, memberikan serapan Cd sebesar 5,96 mg/g dan serapan Cr sebesar 1,07 mg/g.

Kata kunci: *Phanerochaete chrysosporium*, radiasi gamma, kadmium, kromium, sistem kontinyu

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam Cd dan kromium (Cr), berasal dari industri pelapisan logam, metalurgi, plastik, industri cat, petrokimia, baterai, kertas, dan *pulp*. Ini merupakan logam berat yang berbahaya bagi lingkungan⁽¹⁾. Industri pelapisan krom menghasilkan limbah dengan konsentrasi rata-rata 75.900 mg/L dalam bentuk CrO_4^{2-} ⁽²⁾. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, nilai ambang batas limbah krom heksa-valensi Cr (VI) adalah 1 mg/L. Limbah buangan Cd di kawasan industri pelapisan logam mencapai 0,5 mg/L dan telah melebihi baku mutu limbah cair Cd yaitu 0,01 mg/L⁽³⁾.

Pengolahan limbah logam berat secara fisika dan kimia menimbulkan limbah sekunder dan mahal⁽⁴⁾. Pengolahan limbah secara biologi yang menggunakan mikroorganisme sebagai *biosorben* untuk menyerap logam berat, merupakan teknologi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan. Keuntungan dari pemanfaatan mikroorganisme adalah ramah lingkungan, murah, daya ikat logam tinggi, memiliki mekanisme *desorpsi recovery* logam, dan dapat dimanfaatkan kembali⁽⁵⁾.

Fungi *white rot*, dengan spesifikasi substrat yang sangat rendah, memineralisasi polutan organik rekalsitran dengan struktur mirip lignin⁽⁶⁾. *P. chrysosporium* memiliki kemampuan menyerap ion logam secara signifikan dan menghasilkan enzim lignin peroksidase (LiP), mangan peroksidase (MnP), dan laktase. Enzim tersebut mampu mengakses non polar dan *non-soluble* senyawa toksik⁽⁷⁾. *P. chrysosporium* mampu mengakumulasi ion Cr(VI) dengan gugus fungsional aktif pada permukaan sel dan dapat mengadsorpsi ion Cr(VI) mencapai 78,5%⁽⁸⁾.

Perlakuan sinar gamma pada fungi menstimulasi aktivitas enzim sehingga ketahanan daya terhadap ion meningkat dan pengikatan logam menjadi besar^(9,10). Hal ini menyebabkan terjadinya stress oksidatif sel, sehingga sel akan mengembangkan mekanisme proteksi diri untuk melawan efek oksigen reaktif dengan menghasilkan enzim ekstraseluler yang lebih banyak⁽¹¹⁾. Pengaruh sinar gamma dosis rendah pada *P. chrysosporium* memberikan serapan tertinggi Pb(II) sebesar 14,92 mg/g dan Cd(II) sebesar 1,17 mg/g⁽¹²⁾.

Reduksi logam berat dilakukan dalam reaktor *biosorpsi* logam berat Pb dengan fungsi *Aspergillus niger* yang menggunakan sistem kontinu pada larutan limbah cair memberikan efisiensi reduksi logam Pb sebesar 96,12%⁽¹³⁾. Hal ini menunjukkan sistem kontinu lebih efisien dalam mengadsorpsi logam berat karena terjadi kontak kontinu antara *adsorben* dengan larutan segar⁽¹⁴⁾.

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan radiasi *P. chrysosporium* sebagai *biosorben* Cd(II) dan Cr(VI) di dalam sistem kontinu dengan variasi waktu retensi. Parameter yang digunakan adalah pengamatan pH, viabilitas fungi, kadar ion Cd(II) dan ion Cr(VI) menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

2. BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan adalah pH meter, oven (Memmert), *shaker* mekanis, autoklaf (Wise), *magnetic stirrer*, *petri dish*, inkubator (Heracus), neraca analitik (Acculab), cawan masir, bunsen, *irradiator gamma chamber* 4000A dengan laju dosis 2,1 KGy/jam, *hand sprayer*, *laminar air flow* (Panasonic), desikator (Sanplatec), AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer* Perkin - Elmer), dan peralatan gelas lainnya.

Bahan yang digunakan adalah kultur fungi *P. chrysosporium*, *Potato Dextrose Agar* (PDA), *Potato Dextrose Broth* (PDB), *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CdSO_4 .

2.1 Inkubasi kultur fungi *P.chrysosporium*⁽¹⁵⁾

Kultur fungi *P. chrysosporium* dipapari sinar gamma 0 (kontrol), 250 Gy, 500 Gy, 750 Gy, dan 1000 Gy dalam media PDB diinkubasi dan diaduk dengan *shaker* pada kecepatan 100 rpm selama 4 hari. Kultur fungi 100 µl diinkubasi pada media PDA pada suhu 30°C selama 4-6 hari.

2.2 Orientasi dosis iradiasi Gamma⁽¹²⁾

Kemampuan tumbuh *P. chrysosporium* hasil radiasi dievaluasi dengan menambahkan larutan logam Cd(II) 50 ppm dan larutan Cr(VI) 50 ppm. Medium cair sebanyak 30-40 mL dalam 12 gelas ukur 250 mL disterilkan dengan *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit. Kultur fungi *P. chrysosporium* ukuran 0,5 x 0,5 cm dalam medium cair tersebut diinkubasi dengan *shake* 100 rpm selama 3-4 hari. Supernatan dan biomassa mikroba *disentrifuse* 12000 rpm selama 15 menit. Biomassa mikroba pada cawan porselen dikeringkan dalam oven 60°C selama 48-72 jam. Variabel pengamatan terdiri dari pH supernatan dan bobot kering biomassa mikroba.

2.3 Pembuatan Bahan Pembawa⁽¹⁶⁾

Bahan pembawa (*carrier*) terdiri dari 500 g CMC, 100 g kompos, 250 g bubuk *talk* dan 50 mL aquades dicampur rata sehingga membentuk granula, kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C.

2.4 Pembuatan inokulan *P. chrysosporium*

P. chrysosporium radiasi dosis optimum X Gy (F2) dan *P. chrysosporium* radiasi 0 Gy (F1) dalam 25 mL media cair PDB dengan viabilitas awal 10^7 spora/ml diinkubasi pada *shaker* 100 rpm selama 4 hari. *Carrier* organik padat seberat 40 g dalam kantong plastik (*polyethylene*) disterilkan dengan radiasi sinar gamma 25 kGy, kemudian kultur cair fungi F1 dan F2 diinokulasi dan diinkubasi pada suhu 28-30°C selama 14 hari. *Carrier* tanpa fungi (F0) digunakan sebagai kontrol. Variabel pengamatan terdiri dari pH, kadar air, bahan organik, abu dan viabilitas fungi.

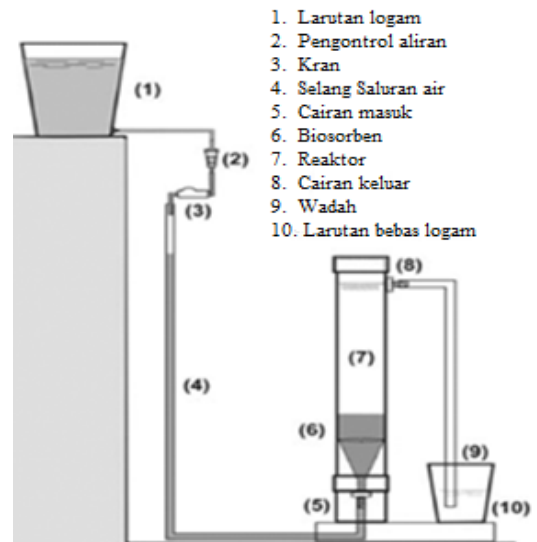
2.5 Penentuan efisiensi serapan Cd dan Cr dalam medium cair

Efisiensi serapan fungi IF0 (inokulan tanpa *P. chrysosporium*), IF1 (inokulan *P. chrysosporium* 0 Gy), dan IF2 (inokulan *P. chrysosporium* X Gy) dievaluasi melalui penambahan larutan logam Cd(II) 50 ppm dan larutan logam Cr(VI) 50 ppm dalam medium PDB. Medium cair 40 mL dalam botol 250 mL ini disterilkan dengan *autoclave* pada 121°C selama 15 menit, kemudian ditambahkan inokulan fungi (IF0, IF1, IF2) sebesar 2 gr dan diinkubasi dalam *shaker* pada 100 rpm dan suhu 28-32°C selama 3 hari. Supernatan dan endapan di-sentrifuse pada 12000 rpm selama 15 menit agar terpisah. Variabel pengamatan terdiri dari pH supernatan dan efisiensi serapan Cd dan Cr.

2.6 Penentuan serapan Cd dan Cr di dalam sistem kontinu

Inokulan fungi terdiri dari F0 (tanpa fungi *P. chrysosporium*), F1 (*P. chrysosporium* dosis 0 Gy) dan F2 (*P. chrysosporium* dosis optimal, X Gy). Inokulan ini digunakan sebagai *biosorben* Cd(II) dan Cr(VI) pada reaktor kontinu dengan variasi waktu *retensi* (tinggal) terdiri dari T1 = 3 jam, T2 = 6 jam T3 = 9 jam dan T4 = 12 jam. Umpan terdiri dari larutan PDB, larutan logam Cd(II) 50 ppm dan larutan logam Cr(VI) 50 ppm dan disterilkan dengan *autoclave* pada 121°C selama 15 menit.

Umpan dialirkan dari bagian atas ke bawah reaktor melalui *biosorben* dengan variasi waktu *retensi*. *Biosorpsi* Cd(II) dan Cr(VI) dilakukan dalam reaktor kontinu selama 12 jam. Selanjutnya, *effluent* di-destruksi untuk analisis serapan Cd dan Cr dengan AAS (*Atomic Absorption Spectro-photometer*). Variabel pengamatan terdiri dari pH *effluent*, viabilitas fungi, bahan organik, kadar air, serapan Cd dan Cr. Skema reaktor kontinu ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Reaktor Kontinu⁽¹⁷⁾

2.7 Evaluasi Hari ke 0 dan 5

Penentuan pH⁽¹⁸⁾

Penentuan pH sampel padat dan cair dengan pH meter digital. Sampel padat 5 g pada erlenmeyer 100 mL kemudian ditambahkan 25 mL aquades dan dikocok dengan *shaker* pada 100 rpm selama 30 menit. Supernatan dan endapan di-sentrifuse pada 5000 rpm, kemudian supernatan ditampung dalam gelas piala dan dilakukan pengukuran pH.

Penentuan viabilitas fungi⁽¹⁹⁾

Viabilitas fungi ditentukan dengan metode *Total Plate Count* (TPC). Kultur fungi 1 mL ditambahkan 9 mL air fisiologis steril (0,85% NaCl) untuk memperoleh suspensi sampel. Suspensi diencerkan sampai 10^7 menggunakan air fisiologis dan dituangkan ke atas lapisan PDA, diinkubasi pada suhu 30°C. Penghitungan total fungi dilakukan pada inkubasi hari ke-3.

Penentuan serapan Cd dan Cr⁽²⁰⁾

Setelah biosorpsi selama 12 jam, *effluent* di-destruksi dengan campuran asam nitrat dan asam perklorat (3:1). Hasil *destruksi* dimasukkan ke dalam labu ukur dan ditepatkan menjadi 10 mL dengan akuades. Konsentrasi Cd dan Cr dalam filtrat dianalisis dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dengan menggunakan rumus seperti berikut :

$$q_e \text{ (mg/g)} = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{w} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon \text{ (%) } = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

ε = efisiensi penyerapan (%)

C_0 = konsentrasi awal logam (mg/L)

C_t = konsentrasi akhir logam (mg/L)

q_e = penyerapan ion logam (mg/g)
 V = volume larutan logam (L)
 W = berat sampel (g)

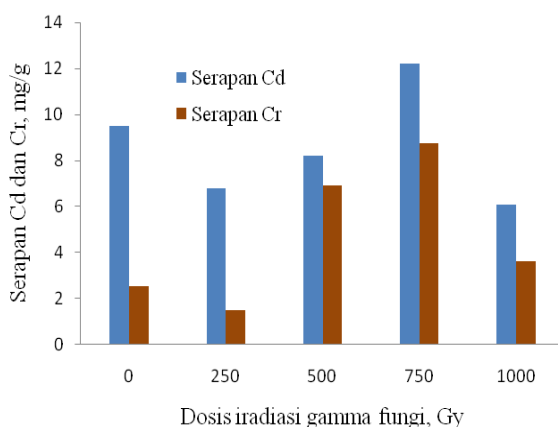
2.8 Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) pada SPSS versi 20.0 dengan batas kepercayaan sebesar 95% ($\alpha=0,05$) dan dilanjutkan dengan uji *Duncan*. Penelitian menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor dan 2 ulangan, faktor pertama yaitu F0 (tanpa fungi *P.chrysosporium*), F1 (fungi *P.chrysosporium* 0 Gy), dan F2 (fungi *P.chrysosporium* X Gy) dan faktor kedua terdiri dari waktu *retensi* (tinggal) medium cair dalam *biosorben* (inokulan fungi) yang terdiri dari T1 = 3 jam, T2 = 6 jam, T3 = 9 jam dan T4 = 12 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Optimasi Dosis Radiasi

Dosis radiasi optimum ditentukan melalui uji serapan ion logam berat Cd(II) dan Cr(VI) oleh *P. chrysosporium* dalam medium cair dengan dosis yang berbeda-beda yaitu 0, 250, 500, 750, dan 1000 Gy dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa dosis radiasi optimum pada 750 Gy dengan serapan ion Cd(II) sebesar 12,20 mg/g dan serapan ion Cr(VI) 8,73 mg/g dengan bobot biomassa 1,78 mg/mL. Serapan Cd dan Cr turun pada dosis 250 Gy, kemudian naik pada dosis 500 Gy dan mencapai maksimum pada dosis 750 Gy dan turun kembali pada dosis 1000 Gy. Peningkatan dosis radiasi mengakibatkan penurunan *viabilitas* fungi. Hal ini tampak pada dosis 800 Gy dan 1000 Gy, di mana fungi tidak dapat memperbaiki kerusakan yang terjadi pada sel sehingga aktivitas enzim menurun⁽²¹⁾.

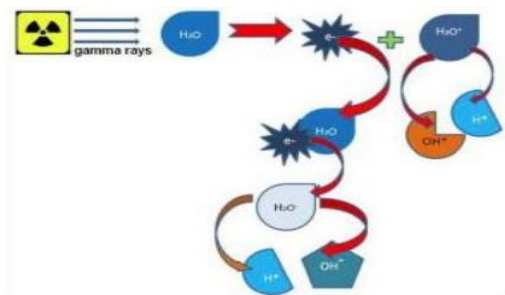


Gambar 2. Grafik hubungan dosis radiasi dengan serapan logam berat

Hasil uji statistik memperlihatkan beda nyata ($p<0,05$) sehingga fungi yang optimal digunakan

untuk proses *biosorpsi* logam Cd dan Cr adalah *P. chrysosporium* dengan dosis 750 Gy. Dosis yang diberikan merupakan dosis yang dapat ditoleransi, dimana kerusakan sel masih dapat diperbaiki sehingga menstimulasi aktivitas enzim lignin peroksidase (LiP)⁽²¹⁾. Peningkatan aktivitas enzim lignin peroksidase (LiP) terjadi pada dosis 750 Gy. Dosis ini menyebabkan sel fungi rusak namun mampu memperbaiki yakni dengan meningkatnya aktivitas enzim⁽¹⁵⁾.

Interaksi sinar gamma dengan suatu sel akan menghasilkan radikal bebas atau spesi oksigen reaktif diantaranya radikal superoksida ($O_2^{\cdot-}$), radikal hidroksil (OH^{\cdot}), dan hidrogen peroksida (H_2O_2)⁽²²⁾. Radikal-radikal bebas ini dapat memicu terjadinya stres oksidatif. Stress ini menyebabkan sel mengembangkan mekanisme proteksi untuk melawan efek oksigen reaktif dengan menghasilkan enzim yang lebih banyak⁽¹¹⁾. Mekanisme radiasi sinar gamma terhadap sel dapat dilihat pada Gambar 3.



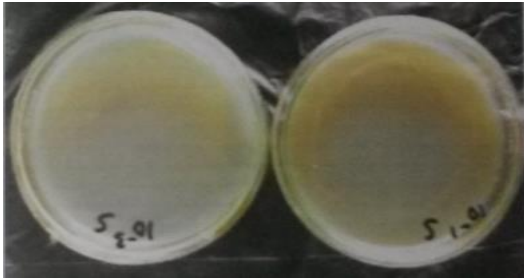
Gambar 3. Mekanisme radiasi gamma terhadap sel⁽²³⁾.

Peningkatan dosis radiasi gamma pada sel menyebabkan meningkatnya energi yang diterima oleh sel tersebut. Hal ini menyebabkan semakin banyak radikal bebas terbentuk akibat *eksitasi* elektron molekul air (H_2O) dalam sel. Kemampuan regenerasi sel semakin rendah karena sel menerima dosis tinggi dalam waktu singkat yang menghambat pertumbuhan dan mematikan sel serta radiasi ini mampu menstimulasi fungi untuk memperbaiki bagian terinduksi dengan memproduksi enzim lebih banyak^(24,25).

3.2 Viabilitas Inokulan *P. chrysosporium* dalam Carrier

Kultur fungi *P. chrysosporium* digunakan membuat inokulan fungi dengan *carrier* organik padat. *Carrier* sebagai bahan tempat membawa sel hidup atau mikroba yang diinokulasikan di dalamnya dengan tujuan agar tetap hidup selama jangka waktu tertentu. Syarat *carrier* yang baik digunakan adalah pH netral ($\pm 6,47$), mudah disteril dengan autoklaf atau radiasi sinar

gamma, murah, tidak beracun, penyerapan dan kelembapan baik, dan tersedia dalam sumber daya yang cukup⁽²⁶⁾.



Gambar 4. Hasil TPC Carrier steril

Gambar 4 menunjukkan carrier yang steril dengan sinar Gamma Co-60 dosis 25 kGy, pada hari ke-0 tidak terdapat mikroba *indigenous* dan fungi yang menunjukkan bahwa iradiasi dosis 25 kGy mampu mensterilkan carrier⁽²⁷⁾.

Kemampuan *viabilitas* fungi pada penyimpanan 14 hari dianalisis dengan menggunakan TPC (*Total Plate Count*), hasil yang diperoleh dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji TPC (*Total Plate Count*) Carrier

No	Sampel	TPC Log 10 Propagul/gr
1	IF0 (PC-0)	7,42
2	IF2 (PC-750)	7,78

Tabel 1 menunjukan bahwa *viabilitas* fungi IF2 (PC-750) yang diradiasi sinar gamma lebih besar dibandingkan dengan IF0 (PC-0) tanpa radiasi. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan sinar gamma dosis rendah terhadap fungi dapat meningkatkan *viabilitas* karena radiasi dapat menstimulasi *germinasi*^(27,28).

Salah satu parameter pendukung dalam pertumbuhan *P. chrysosporium* di dalam carrier adalah bahan organik, dimana bahan organik carrier awal adalah 66.00%, setelah inokulasi fungi PC-0 dan PC-750 di dalam carrier dan disimpan selama 14 hari kadar bahan organik carrier menurun menjadi 65,17% dan 65,15%. Penurunan bahan organik disebabkan nutrisi pada bahan organik dirombak dan dimanfaatkan oleh fungi untuk pertumbuhannya⁽³⁰⁾.

3.3 Efisiensi serapan Cd dan Cr dalam Medium Cair

Efisiensi serapan logam Cd dan Cr pada perlakuan: IF0 (*carrier* tanpa fungi), IF1 (*carrier* dengan fungi 0 Gy), dan IF2 (*carrier* dengan *P. chrysosporium* 750 Gy) ditentukan melalui media PDB (*Potato Dextrose Broth*) yang mengandung logam Cd dan Cr 50 ppm pada pH 5,5. *Biosorpsi* dilakukan selama 3 hari menggunakan *rotary shaker*. Proses pengadukan bertujuan untuk

menyeragamkan suhu dan konsentrasi nutrisi serta suspensi mikroba padat⁽³¹⁾. Serapan ion Cd dan Cr dianalisis dengan menggunakan *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil serapan tampak pada Tabel 4.

Tabel 2. Efisiensi serapan ion Cd dan Cr

Sampel	Serapan Cd, %	Serapan Cr, %
IF0	60,15	43,02
IF1	68,40	49,12
IF2	72,58	52,81

Tabel 2 menunjukkan efisiensi serapan Cd dan Cr tertinggi pada IF2 dengan efisiensi serapan Cd sebesar 72,58% dan Cr sebesar 52,81%, pada IF0 efisiensi serapan Cd sebesar 60,15% dan Cr sebesar 43,02% dan pada IF1 efisiensi serapan Cd sebesar 68,40% dan Cr sebesar 49,12%. Hasil Uji Statistik Duncan memperlihatkan beda nyata ($p < 0,05$) pada efisiensi serapan ion Cd dan Cr. Serapan IF2 lebih besar dibandingkan dengan IF0 dan IF1. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan sinar gamma terhadap fungi mampu menstimulasi peningkatan aktivitas enzim sehingga ketahanan fungi terhadap ion meningkat dan pengikatan logam menjadi besar^(9,10).

Fungi dengan carrier lebih tinggi serapan logamnya dibandingkan dengan yang hanya menggunakan carrier saja sebagai agen *biosorbennya*⁽¹²⁾. Setelah melalui proses inkubasi selama 3 hari semua nilai pH hasil akhir *biosorpsi* berada di bawah pH awal yaitu 5,5. Hal ini terjadi karena proses *biosorpsi* menghasilkan asam-asam organik seperti asam laktat dan piruvat yang lebih banyak⁽³²⁾.

3.4 Reduksi Logam Cd dan Cr pada Sistem Kontinu

Viabilitas Fungi Setelah *Biosorpsi*

Viabilitas *P. chrysosporium* pada *biosorpsi* dengan sistem kontinu selama 12 jam dianalisis dengan menggunakan TPC (*Total Plate Count*).

Tabel 3. Hasil TPC *Biosorben*

No	Sampel	TPC Log 10 Propagul/gr
1	R1F1	8,60
2	R1F2	8,84
3	R2F1	8,47
4	R2F2	8,51
5	R3F1	8,55
6	R3F2	8,64

Tabel 3 menunjukkan bahwa *viabilitas* fungi *P. chrysosporium* setelah proses *biosorpsi*

setelah 12 jam rata-rata terbesar pada F2 (fungi dengan dosis 750 Gy). Hal ini menunjukkan bahwa fungsi *P. chrysosporium* resisten terhadap logam berat Cd dan Cr⁽³³⁾.

Nilai pH Setelah Proses Biosorpsi

Parameter pertumbuhan *P. chrysosporium* dan proses biosorpsi adalah pH, yang diukur pada jam ke 3, 6, 9, dan 12. Tabel 4 menunjukkan nilai pH tertinggi pada akhir biosorpsi pada reaktor kontinu selama 12 jam adalah pada R1F2 dan R2F2 yaitu 7,50 dan 7,43 dan serapan logamnya juga tertinggi dibandingkan R1F0, R1F1, R2F0, dan R2F1. Nilai pH tinggi dapat membantu mengurangi keberadaan logam berat dalam media, tetapi kapasitas serapan logam Cd(II) dan Cr(VI) pada R1F2 dan R2F2 lebih rendah dibandingkan kapasitas serapan logam Cd dan Cr pada R3F2 yaitu pada serapan logam Cd sebesar 5,956 mg/g dan Cr sebesar 1,071 mg/g pada pH sebesar 6,48. Hal ini disebabkan karena aktivitas *P. chrysosporium* sebagai biosorben bekerja optimal pada pH 4-6. Enzim tidak dapat bekerja pada pH yang tidak sesuai karena akan mengalami denaturasi^(34, 35).

Tabel 4. Nilai pH setelah Biosorpsi

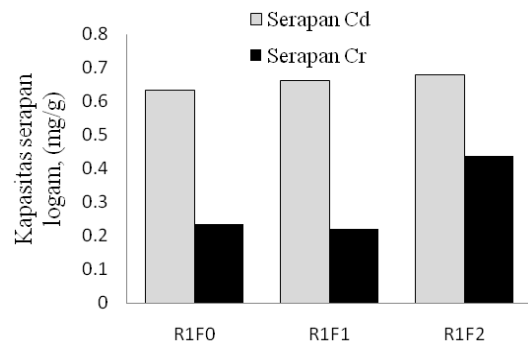
Perlakuan	3 Jam	6 Jam	9 Jam	12 Jam
R1F0	6,13	6,21	6,54	6,65
R1F1	6,85	7,02	7,20	7,33
R1F2	6,78	7,06	7,39	7,50
R2F0	6,11	6,25	6,33	6,41
R2F1	6,78	7,00	7,15	7,30
R2F2	6,90	7,09	7,19	7,43
R3F0	5,92	5,69	5,65	5,54
R3F1	6,63	6,32	6,18	6,02
R3F2	6,77	6,66	6,55	6,48

Serapan Logam Cd dan Cr

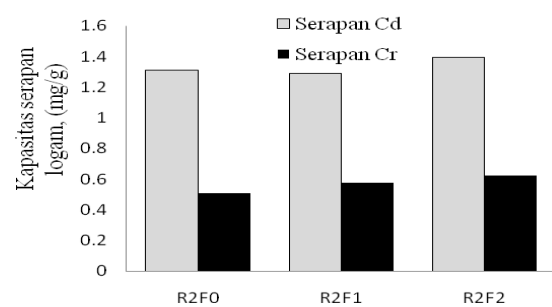
Biosorpsi pada sistem kontinu dari F0 (tanpa fungsi), F1 (*P. chrysosporium* 0 Gy) dan F2 (*P. chrysosporium* 750 Gy) dilakukan dengan tinggi reaktor 36 cm dan diameter 4,2 cm. Variasi waktu tinggal terdiri dari T1 = 3 jam, T2 = 6 jam, T3 = 9 jam dan T4 = 12 jam. Laju alir reaktor kontinu dikalibrasi untuk menentukan debit aliran, dengan cara mengeser *droplet* dengan laju alir berbeda dan menampung air keluaran selama 1 jam lalu mengukur banyaknya air. Hasil kalibrasi didapati variasi kecepatan laju alir yaitu R1 dengan 32 mL/jam, R2 dengan 58 mL/jam dan R3 dengan 204 mL/jam.

Kapasitas serapan ion Cd dan Cr setelah proses biosorpsi dalam reaktor kontinu, sampel diukur pada jam ke 12 dengan menggunakan

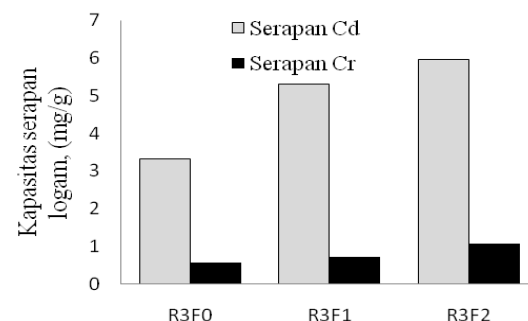
Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS). Hasil serapan dapat dilihat pada Gambar 5–7.



Gambar 5. Kapasitas serapan logam Cd dan Cr pada laju alir 32 mL/jam



Gambar 6. Kapasitas serapan logam Cd dan Cr pada laju alir 58 mL/jam



Gambar 7. Kapasitas serapan logam Cd dan Cr pada laju alir 204 mL/jam

Keterangan :

F0 = Tanpa fungsi *P. chrysosporium*

F1 = Fungsi *P. chrysosporium* 0 Gy

R1 = 32 mL/jam

R2 = 58 mL/jam

R3 = 204 mL/jam

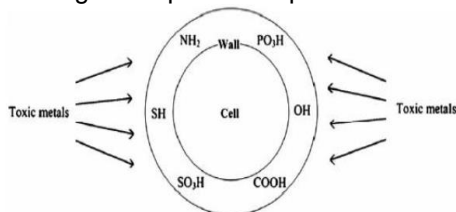
Gambar 5-7 menunjukkan bahwa serapan logam Cd dan Cr tertinggi adalah F2. Perlakuan R1F2 menghasilkan serapan logam Cd sebesar 0,68 mg/g dan Cr sebesar 0,437 mg/g, Perlakuan R2F2 menghasilkan serapan logam Cd sebesar 1,394 mg/g dan Cr sebesar 0,623 mg/g, dan perlakuan R3F2 menghasilkan serapan logam Cd sebesar 5,956 mg/g dan Cr sebesar 1,071 mg/g. Hasil Uji Statistik Duncan memperlihatkan

beda nyata ($p < 0,05$) pada serapan logam Cd dan Cr dengan *P.chrysosporium* dosis 750 Gy.

Adsorpsi ion logam merupakan *adsorpsi* fisik dimana gaya yang bekerja antar logam berat dari permukaan *biosorben* adalah gaya Van der Waals yang bersifat *reversible* karena proses penyerapan dapat dilepaskan kembali ke dalam pelarut, kecepatan pembentukan ikatannya cukup tinggi, sehingga regenerasi dapat dilakukan pada suhu rendah, dan semakin tinggi suhunya maka penyerapannya semakin kecil⁽³⁶⁾.

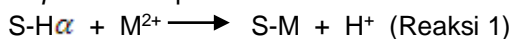
Biosorpsi logam Cd(II) dan Cr(VI) pada model ini adalah aliran dari atas ke bawah (*Down Flow Fixed-Bed Column*) menggunakan variasi kecepatan laju alir, dimana pada lapisan *adsorben* terjadi kontak secara langsung dengan larutan pada konsentrasi tertinggi sehingga menyerap larutan dengan konsentrasi yang lebih rendah. Gambar 7 menunjukkan kecepatan laju alir R3 204 mL/jam menghasilkan serapan logam yang lebih tinggi pada R3F2 yaitu serapan Cd sebesar 5,956 mg/g dan serapan Cr sebesar 1,071 mg/g dibandingkan dengan kecepatan laju alir R1 32 mL/jam dan laju alir R2 58 mL/jam. Hal ini terjadi karena peningkatan laju alir akan menambah tekanan dari aliran sehingga meningkatkan interaksi antara ion logam Cd dan Cr dengan biosorben sehingga mempengaruhi kapasitas *adsorpsi*.

Mekanisme penyerapan logam oleh *P. chrysosporium* adalah mekanisme *ion exchange*, ikatan kovalen, kelat, dan *adsorpsi* pada dinding sel. Dinding sel fungi tersusun dari beberapa polisakarida dan juga beberapa gugus fungsional yang berperan dalam mekanisme penyerapan ion⁽³⁷⁾. Gambaran mekanisme penyerapan ion oleh dinding sel dapat dilihat pada Gambar 8.

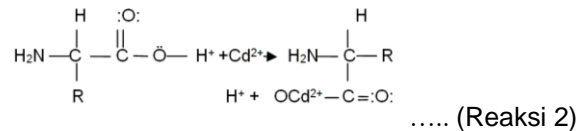


Gambar 8. Skema serapan ion logam terhadap gugus fungsional dinding sel biomassa⁽³⁸⁾.

Adsorpsi melalui pertukaran ion:



S-H mewakili situs *adsorpsi* permukaan *adsorben*, sedangkan M^{2+} adalah ion logam. konsentrasi kesetimbangan ion logam S-M adalah logam ter*adsorpsi* pada biomassa, sedangkan α adalah koefisien protonik. Pada proses ini terjadi kompetisi antara ion H^+ dengan ion logam terhadap situs pertukaran kation. Mekanisme pertukaran kation dijelaskan pada reaksi berikut⁽³⁹⁾.

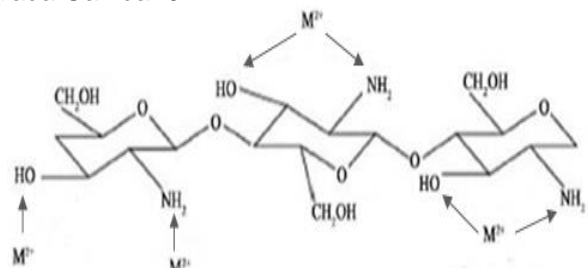


Mekanisme pertukaran ion ini terjadi pada saat gugus karboksilat (COOH) mengalami deprotonasi akibat hadirnya ion hidroksida (OH^-), sehingga bermuatan negatif (COO^-) yang sangat reaktif untuk berikatan dengan Cd^{2+} ⁽³⁹⁾.

Ion Cr(VI) dalam medium pH 2-6 akan banyak terbentuk sebagai CrO_4^{2-} dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Gugus fungsi amina yang terdapat pada dinding sel fungi akan mengalami *protonasi* dan meng*adsorpsi* ion $\text{Cr}^{(40)}$. Gugus fungsional pada dinding sel fungi yang paling banyak berperan dalam mekanisme penyerapan ion adalah gugus $-\text{OH}$ dan $-\text{NH}^{(41)}$. Adapun reaksi yang terjadi adalah⁽³⁷⁾:

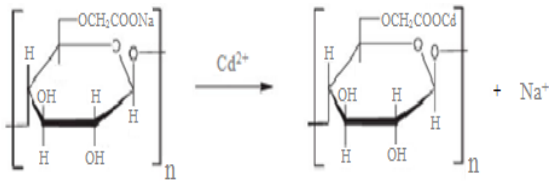


Selain mekanisme *ion exchange*, *P. chrysosporium* meng*adsorpsi* ion dengan mekanisme pembentukan kompleks dengan dinding sel yang mengandung polisakarida. Mekanisme pembentukan kelat dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar. 9 Ilustrasi pengikatan logam berat dengan dinding sel⁽⁴²⁾.

Adsorben logam lain selain *P. chrysosporium* yaitu *Carboxymethyl cellulose* (CMC) yang terdapat dalam *carrier*. Penggunaan fungi dengan CMC sebagai *biosorben* berpengaruh terhadap penyerapan ion logam Cd(II) dan Cr(VI). Substrat CMC meng*adsorpsi* logam berat melalui mekanisme *ion exchange*. Struktur CMC memiliki gugus Na^+ dan gugus karbonil dan ketika bertemu dengan ion Cd dan Cr, ion Na^+ akan terlepas dari gugus karbonil⁽⁴³⁾. Mekanisme *ion exchange* antara CMC dengan logam berat Cd dapat dilihat gambar 10.



Gambar 10. Ion exchange antara CMC dengan ion $\text{Cd}^{(44)}$.

4. KESIMPULAN

Reduksi logam berat Cd(II) dan Cr(IV) dalam sistem kontinu menggunakan fungi *P. chrysosporium* menghasilkan :

- Dosis optimum iradiasi sinar gamma pada fungi *P. chrysosporium* dalam menyerap logam Cd dan Cr adalah dosis radiasi 750 Gy.
- Serapan logam Cd dan Cr yang tertinggi dalam sistem kontinu setelah jam ke 12 adalah pada R3F2 dengan kecepatan laju alir 204 mL/jam menghasilkan serapan Cd sebesar 5,956 mg/g dan serapan Cr sebesar 1,071 mg/g.

DAFTAR PUSTAKA

1. Iqbal, M., Edyvean, R. G. J. (2010). Alginate Coated Loofa Sponge Discs For The Removal of Cadmium from Aqueous Solutions. *Biotechnol. Lett*, Vol. 26 : 165-169.
2. Slamet. (2012). Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat (Cr^{6+}) Secara Simultan dengan Fotokatalis TiO_2 , ZnO-TiO_2 , dan CdS-TiO_2 , Universitas Indonesia. Jakarta. Makara, Teknologi. Vol. 9 (2) : 66-71.
3. Ramos, R.L. (2010). "Adsorption of Cadmium (II) from Aqueous Solution onto Activated Carbon" *Journal of Hazardous Material* Vol. 173 : 236-242.
4. Junior, L.M.B., E.P. Silvia, dan A.K.C. Lobato. (2003). Biosorption of Cadmium using the fungus *Aspergillus niger*. *Braz.J.Chems. Eng.* Vol. 20 (3) : 1-15.
5. Mohamad, E. (2012). Fitoremediasi Logam Berat Cd Pada Tanah Dengan Menggunakan Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L). Laporan Penelitian Pengembangan Iptek Dana PNPB Tahun Anggaran 2012 : Universitas Negeri Gorontalo; 13-28.
6. Veignie E, Rafin C, Woisel P, Cazier F. (2004). Preliminary evidence of the role of hydrogen peroxide in the degradation of benzo[a]pyrene by a non-white rot fungus *Fusarium solani*. *Environ Pollut* Vol.129 (1) : 1- 4.
7. Levin L.,A., Wiebke Z. , Guillermo F. M. , Valerie A. G., Michael D.T., Kevin M. B., Chris M., Joris M.G., Anthony E. R., (2003). Spatial heterogeneity of macrofauna at northern California methane seeps: influence of sulfide concentration and fluid flow, *Mar Ecol Prog Ser.* Vol. 265 : 123 – 139.
8. Sumit, Pal., and Vimala.Y. (2012). Comparative Study On Bioremediation Of Chromium In Fortified Solutions By Viable, Biosorbent And Immobilised Cells Of *Phanerochaete chrysosporium*- MTCC787, *Intern.Journ.of Microbiology Research*, Vol. 4 (6) : 240 – 248.
9. Afify, E.M.R., Mohamed, A.A.E., Ghada, M.I dan Bassam, W.K. (2013). Stimulating of Biodegradation of Oxamyl Pesticide by Low Dose Gamma Irradiated Fungi. *J Plant Pathol Microb.* Vol.4 : 9 – 13.
10. Shatele, M.S,. (2009). Effect of Gamma Irradiation on Fungal Growth and Associated Pathogens. *Research Journal of Enviromental Toxicology.* Vol. 3(2) : 94-100.
11. Sreedhar, M., Chaturvedi, A., Aparna, M., Kumar, P.D., Singhai, R.K and Babu, V. (2013). Influence of γ - radiation Stress on Scavenging Enzyme Activity and Cell Ultra Structure in Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Applied Science Resource.* Vol. 2 (4) : 35-44.
12. Mulyana, N., Tri, R.D.L, Thamzil, L., dan Anita, R. (2015). Delignifikasi Substrat Kayu Jati Putih Dengan Fungi *Phenerochaete Chrysosporium* Untuk Meningkatkan Serapan Pb dan Cd Di Dalam Medium Cair. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir.* 447 - 454.
13. Malihe A., Habibollah Y. , Nader B., Ali Akbar Z. L.,Farshid G., Ali D., Mazyar S.,. (2008), Application of response surface methodology for optimization of lead biosorption in an aqueous solution by *Aspergillus niger*, *Journal of Hazardous Materials*,Vol.154 : 694–702.
14. Aksu Z. (2003). Biosorption of Chromium (VI) Ions by Mowital B30 H Resin Immobilized Activated Sludge in a Packed Bed: Prediction of Breakthrough Curves. *Process Biochem.*Vol. 38 (2) : 175-186.
15. Priyo, W., Untung, S., Harsoyo, Aris, M., dan Dwi, W. (2005). Pengaruh Pemaparan Sinar Gamma Isotop Cobalt-60 dosis 0,25–1 kgy Terhadap Daya Antagonistik *Trichoderma harzianum* pada *Fusarium oxysporum*. *Berk.Penel.Hayati*,Vol. 10 : 143-151.

16. Alka, T., Tulika, D., dan Bajpaib. (2008). Removal of Toxic As (V) Ions by Adsorption onto Alginate and Carboxymethyl Cellulose Beads. *Journal of the Chinese Chemical Society*, Vol. 55 : 952-96.
17. Paramsothy. (2012). Optimizing Hydrolysis/Acidogenesis Anaerobic Reactor With The Application of Microbial Reaction Kinetic. University of Peradeniya. *Tropical Agricultural Research* Vol. 16 : 327-338.
18. Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2000). *Official Method of Analysis*. Vol. 4 : 5-15.
19. Saraswati, R.E., Husen dan Simanungkalit. (2007). *Metode Analisis Biologi Tanah*, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber daya Lahan Pertanian. Yogyakarta, ISBN: 978-602-8039-055. Vol. x : 10-18.
20. Tamer, A., Sibel, T. (2006). Biosorption characteristics of *Aspergillus flavus* biomass for removal of Pb(II) and Cu(II) ions from an aqueous solution. *Bioresource Technology*, Vol. 97 : 1780–1787.
21. Gunam, I.B.W., Buda, K., dan Guna, I.M.Y.S. (2010). Pengaruh Perlakuan Delignifikasi Dengan Larutan NaOH dan Konsentrasi Substrat Jerami Padi Terhadap Produksi Enzim Selulase dari *Aspergillus niger* NRRL Ali, 264. *Jurnal Biologi XIV*. Vol. 1 : 55 – 61.
22. Salter, L., dan Hewitt, C. N. (1992). Ozone-hydrocarbon in plants. *Photochemistry*, Vol. 31 (4) : 4045-4050.
23. Aquino, S. (2012). *Gamma Radiation*. Intech Publisher ISBN 978-953-51-0316-5. 171–179.
24. Borzuei, A., Kafi, M., Khazaei, Naseriyan, B., dan Majdabadi. (2010). Effect of gamma irradiation on germination and physiological aspect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Pak. J. Bot.* Vol. 42 (4) : 2281-2290.
25. Lydia, A., Sjarief, S.H., Sutarmi, A dan Sudrajad, D. (2002). Pengaruh Kapang Iradiasi untuk Produksi Glukosa dari Tepung Sagu. *Majalah BATAN*, 27 : 25-34.
26. Gupta, R., Beg, Q.K, dan Lorenz, P. (2007). Bacterial Alkaline Proteases: Molecular Approaches and Industrial Applications. *Appl. Microbiol And Biotechnol.* Vol. 59 (1) : 15-32.
27. Tri Retno D.L, Nana Mulyana dan Dadang S,. (2012), Pembuatan Bahan Pembawa Berbasis Vermikompos untuk Inokulan Bakteri Rhizosfer Peningkat Pertumbuhan Tanaman”, *Pros.Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Tekn. Nuklir, Pusat Tekn. Akselerator dan Proses Bahan.* ISSN 0216-3126 : 201-207.
28. Tri, R.D.L., Mulyana, N., Nurhasni dan Hasanah, U. (2016). Pengaruh Radiasi Gamma terhadap Kemampuan Degradasi Lignin *Phanerochaete Chrysosporium* dan *Ganoderma lucidum*, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* Vol. 17 (1) : 21-36.
29. Paillot, R., Robinson, C., Steward, K., Wright, N., Jourdan, T., Butcher, N., Heather, Z. & Waller, A. S. (2010). Contribution of each of four superantigens to *Streptococcus equi* -induced mitogenicity, gamma interferon synthesis, and immunity. *Infect Immun.* Vol. 78 : 1728–1739.
30. Nelson dan Suparjo. (2011). Penentuan Lama Fermentasi Kulit Buah Kakao dengan *Phanerochaete Chrysosporium*: Evaluasi Kualitas Nutrisi Secara Kimiawi. *Laboratorium Makanan Ternak Fakultas Peternakan Universitas Jambi. AGRINAK*, Vol. 1 (1) : 1-10.
31. Siswati, Nana, D., Tenti, I., dan Meliya, R. (2015). Biosorpsi logam berat merkuri (Hg) menggunakan biomassa *Phanerochaete Chrysosporium*. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol. 1, (2) : 67-72.
32. Pacheco, Josue S., Monserrath S., dan Maria G.A.U. (2015). Ability of *Phanerochaete Chrysosporium* and *Trametes versicolor* to remove Zn²⁺, Cr³⁺, Pb²⁺ metal ions. *Terra Lationamericana*, Vol. 33 (3) : 190-198.
33. Joshi, P.K, Swarup, A, Maheshwari, S, Kumar, R, Singh, N. (2011). Bioremediation of heavy metals in liquid media through fungi isolated from contaminated sources. *Indian J Microbiol*, Vol. 51 : 482-487.
34. Huang, C.P. dan M. H. Wu. (2012). Chromium Removal by Carbon Adsorption. *Jurnal Water Pollution Control Fedearthion*, Vol. 47(10) : 2437-2443.
35. Safaria, S., N. Idiawati dan T.A. Zaharah. (2013). Efektivitas Campur Enzim Selulase dari *Aspergillus niger* dan *Trichoderma reesei* Dalam Menghidrolisis Substrat Sabut Kelapa. *JKK*, Vol. 2 (1) : 46-51.
36. Mufrodi, Z. Widiastuti, N. Dan Kardika, R. C. (2008). Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoindustri*,

- Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta:90-93.
37. Chen, G., Wen J.Z., Guang M, dan Jin ,H. (2011). Surface-modified Phanerochaete Chrysosporium as a biosorbent for Cr(VI)-contaminated wastewater. *Journal of Hazardous Material*. Vol. 186 : 2138-2143.
 38. Javanbakht, V., Alavi S.A dan Zilouci, H. (2014). Mechanism Of Heavy Metal Removal Using Microorganisms As Biosorbent. *Water Science and Technology*. Vol. 69 :1775 – 1787.
 39. Tangio, J.S. (2013). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Entropi*. Vol. 3 (1) : 501-506.
 40. Gurgel, V, Melo, J.C.P, Lena, J.C. (2009). Adsorption of chromium (VI) ion from aqueous solution by succinylated mercerized cellulose functionalized with quaternary ammonium groups. *Bioresour. Techol*. Vol. 100 : 3214-3220.
 41. Xu, P, Guang M.Z, dan Lian, H. (2012). Adsorption of Pb(II) by iron oxide nanoparticel immobilized Phanerochaete Chrysosporium: Equilibrium, kinetic, thermodynamic and mechanisms analysis. *Chemical Engineering Journal* , Vol. 203 : 423-431.
 42. Hebeish, Elnagar K.H., Helal, M.H., Ragab, M.S dan Shaaban, M.F. (2011). UV/O₃ Preirradiated Cotton Fabric-Containing Chitin for Effective Removal Heavy Metals. *Materials Sciences and Applications*. Vol. 5 (10) : 698 – 707.
 43. Wang, M., Ling, X., Jing, P., dan Maolin, Z. (2009). Adsorption And Desorption of Sr(II) Ions In The Gels Based On Polysaccharide Derivates. *Journal of Hazardous Material*, Vol. 171 : 820-826.
 44. Roosevelt D.S. Bezerra, Paulo R.S. Teixeira, dan Ana S.N.M. Teixeira. (2015). *Cellulose – Fundamental Aspects and Current Trends*. Intech, 93 -113.