



**STUDY PEMBUATAN BIOSORBEN DARI LIMBAH DAUN AKASIA
MANGIUM (*ACACIA MANGIUM WILD*) UNTUK APLIKASI
PENYISIHAN LOGAM**

Fikri Hasfita

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
Korespondensi: HP:082117069373, e-mail: itaku_hf@yahoo.com

Abstrak

*pengembangan teknologi pengolahan limbah yang mengandung logam berat secara ekonomis dan ramah lingkungan menjadi tantangan dalam dunia teknologi lingkungan. Biosorpsi sebagai teknologi yang sedang berkembang memiliki potensi sebagai teknologi yang akan berkembang untuk menjawab tantangan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melihat potensi pengembangan limbah daun akasia mangium (*acacia mangium wild*) sebagai media penyerap (biosorben) logam berat. Hasil yang diharapkan adalah biosorben limbah daun akasia memiliki karakteristik yang menyamai atau mendekati adsorben komersial. Penelitian terdiri tiga tahapan yaitu pembuatan biosorben, karakterisasi biosorben terdiri dari uji karakteristik fisik berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII), analisa struktur morfologi menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy), analisa gugus fungsional menggunakan FTIR (Fourier Transform Infra Red) dan uji kemampuan sorpsi biosorben terhadap logam berat. Analisa karakteristik fisik dan kimia menunjukkan biosorben limbah daun akasia mendekati standar SII, dengan permukaan didominasi oleh muatan negative serta bentuk pori berada pada mesopori dan makropori. Analisa gugus fungsional menunjukkan bahwa daun akasia tersusun atas gugus OH, C=O dan NH₃ yang berasal dari tannin, selulosa dan lignin yang mempunyai aktifitas baik untuk jenis logam yang bermuatan positif, sedangkan untuk logam yang bermuatan negative dipengaruhi pH. Kemampuan sorpsi biosorben dijalankan menggunakan reaktor batch pada variasi pH, dan konsentrasi logam Cr dan jumlah biosorben. Penyisihan tertinggi mencapai 90% pada pH netral dengan konsentrasi 20 mg/L, jumlah adsorben 2 gram waktu pengadukan 1 jam.*

Kata kunci: Limbah daun akasia mangium, biosorben, biosorpsi, tannin, logam berat.

1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan akibat logam berat semakin meningkat seiring dengan bertambahnya industri yang melakukan proses produksi. Polutan ini terbukti meracuni perairan, berdampak buruk bagi kesehatan makhluk hidup disekitarnya, dan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan. Sejumlah metode telah digunakan untuk mengolah logam berat dalam air limbah dengan penekanan pada penyingkiran. Metode-metode tersebut diantaranya adalah: pengendapan, pengolahan mikrobiologi, penggunaan ion exchange, penggunaan karbon aktif, penggunaan larutan kimia, dan penggunaan material alam. Akan tetapi, metode-metode tersebut belum ekonomis, bahan baku sulit didapat dan masih menyisakan polutan yang bisa berdampak kembali pada lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan perhatian khusus dalam hal penanganan dan pengolahan limbah yang dihasilkan.

Saat ini teknologi biosorpsi dengan menggunakan biomassa tumbuhan sebagai biosorben menjadi alternative teknologi yang berpotensi untuk dikembangkan. Metode ini diyakini sangat menjanjikan terutama harganya murah, memiliki kemampuan adsorpsi yang baik, mudah diregenerasi, serta lebih aman bagi lingkungan (Volesky, 2007). Perkembangan dimulai pada awal tahun 1990. Saat itu sebuah perkembangan baru dicapai dengan diketahuinya biomassa yang mampu menyerap logam berat berbahaya pada limbah industri. Kapasitas penyerapan logam berlangsung sangat baik walaupun pada konsentrasi yang sangat rendah (kira-kira <10 mg/L) (Barlaini, 2005).

Keuntungan pemanfaatan biosorben adalah (1) biaya operasional rendah, (2) efisiensi dan kapasitas pengikatan logam tinggi, (3) lumpur yang dihasilkan minimum, (4) memiliki mekanisme desorpsi yang memungkinkan *recovery* logam, (5) memiliki mekanisme regenerasi sehingga biosorben dapat digunakan kembali, (6) bahan bakunya banyak tersedia dan mudah didapat, dan (7) tidak memerlukan tambahan nutrisi jika menggunakan mikroba yang sudah mati (Ramadhan, 2010).

Perkembangan biosorpsi akhir-akhir ini ditujukan pada pemanfaatan biomassa yang mudah didapat dan berpotensi untuk dijadikan biosorben.

Biomassa merupakan bahan yang berasal dari makhluk hidup, termasuk tanaman, hewan dan mikroba. Menjadikan biomassa sebagai sumber bahan penelitian menjadi sangat menarik, sebab biomassa merupakan bahan yang dapat diperbaharui, dan sangat mudah ditemui meliputi pohon, tumbuhan, produksi tanaman dan residunya, serat-serat tanaman, limbah hewan, limbah industri dan limbah-limbah lain yang berupa bahan organik (Karman,2012).

Tabel 1 Komposisi kimia dan kandungan senyawa sekunder daun akasia (*Acacia mangium Wild*)

Bahan kering	33,44%
Bahan organik	95,79%
Protein kasar	16,48%
Neutral detergent fiber	50,77%
Saponin kasar	1,67%
Total tanin	4,51%

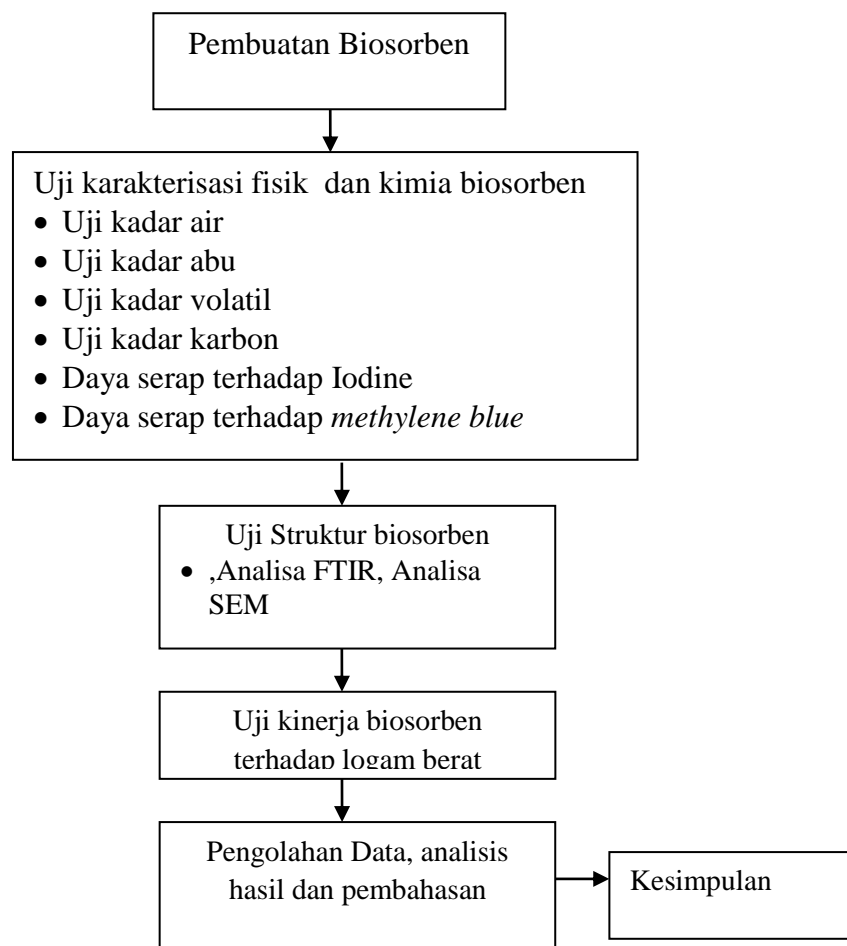
Sumber: Media peternakan,2007

Pada penelitian ini digunakan biomassa yang berasal dari tumbuhan yang mengandung serat dan polifenol alam. Salah satu yang akan digunakan adalah tanaman Akasia dari jenis Akasia Mangium (*Acacia Mangium Wild*). Akasia mangium merupakan jenis tumbuhan yang banyak dijumpai di Indonesia terutama dijadikan bahan baku industri pulp dan dijadikan sebagai pohon peneduh. Pada industri pulp, pohon akasia menjadi bahan baku andalan bubur kertas karena mempunyai kadar selulosa tinggi dan mampu tumbuh dengan cepat. Namun, tidak semua bagian dari pohon akasia layak dijadikan pulp, misalnya daun hanya dibiarkan menjadi limbah yang tidak terurus. Padahal daun akasia masih menyimpan potensi untuk dikembangkan sebagai biosorben karena mengandung polifenol alam berupa zat tannin, saponin dan kadar selulosa tinggi. Carter dkk (1978) melaporkan tannin memiliki gugus -OH yang dapat mengikat logam berat melalui pertukaran ion. Oleh karena itu pada penelitian ini penggunaan limbah daun akasia dari jenis *Akasia mangium Wild* diyakini memiliki aktifitas yang besar sebagai biosorben sedangkan uji terhadap logam digunakan logam Cr(VI). Hasil penelitian diharapkan dapat memberi kontribusi dalam mengatasi beberapa kelemahan dan kekurangan pada penggunaan biomassa

sebelumnya dalam menyisihkan logam berat. Komposisi kimia daun akasia mangium diperlihatkan pada Tabel 1.

2. Bahan dan Metode

Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain oven dan furnace, shaker gelas piala, labu ukur, timbangan, spatula, kertas saring, ayakan ukuran 100 mesh cawan krus porselin, cawan petri, penyaring buchner dan blender yang digunakan untuk menghancurkan daun sedangkan bahan yang digunakan adalah limbah daun akasia, larutan limbah artifisial yang mengandung logam Cr(VI), dan lain-lain.



Gambar 1 Flowchart tahapan penelitian

Penelitian ini terdiri atas tiga tahap yaitu persiapan limbah daun, pembuatan biosorben, karakterisasi biosorben, serta aplikasi biosorben sebagai media penyerap yang dilakukan secara batch dengan variasi percobaan yang terdiri dari: variasi konsentrasi awal larutan Cr(VI), variasi jumlah biosorben, dan variasi PH. Ion Cr(VI) yang tersisa ditentukan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Karakterisasi biosorben terdiri atas analisa gugus fungsional menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), analisa morfologi menggunakan SEM (*Scanning Electron Mikroskopi*), uji karakteristik fisik biosorben didasarkan pada Standar Industri Indonesia (SII). Kerangka kegiatan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Karakterisasi Biosorben

3.1.1 Analisa Karakteristik Fisik dan Kimia Biosorben

Analisa karakteristik fisik biosorben bertujuan untuk mengetahui kelayakan suatu bahan untuk digunakan sebagai media penyerap. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan bahan penyerap hasil penelitian dengan standar bahan penyerap komersial yang ditetapkan oleh SNI (Standar Nasional Indonesia) dan SII (Standar Industri Indonesia). Beberapa variabel yang dianalisa untuk memenuhi standar penyerap komersial diperlihatkan pada Tabel 2. Dari Tabel terlihat komponen kadar air diperoleh 7 %. Kondisi ini sesuai dengan Standar Industri Indonesia (SII No. 0258-79) yaitu maksimal 10%. Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis biosorben artinya mampu menyerap air dan udara sekelilingnya pada pori-pori di permukaan adsorben (Cory, 2001).

Analisis kadar abu biosorben menunjukkan perolehan kadar abu sebesar 4% hal ini menunjukkan bahwa kadar abu diluar persyaratan SII yaitu maksimum 2,5% dan sesuai dengan standar SNI yaitu maksimum 10%. Kondisi yang sama dilaporkan oleh Angelova (2010) menggunakan adsorben Karbon termodifikasi rgani memperoleh kadar abu sebesar 50%. Penentuan kadar abu berhubungan erat dengan kandungan mineral yang terdapat dalam suatu bahan, kemurnian serta kebersihan suatu bahan yang dihasilkan (Widiardi, 2007).

Pada pengujian kadar zat volatile diperoleh hasil 3,45%. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar volatile biosorben sudah memenuhi SII dan SNI. Pengujian kadar organik dimaksudkan untuk menjaga agar kualitas biosorben terjaga dari bahan yang menunjukkan presentasi jumlah zat-zat yang mudah terbakar seperti H₂, CO, CH₄ dan uap-uap yang mengembun seperti tar, gas CO₂ dan H₂O.

Pengujian kadar karbon terikat bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon dalam biosorben. Berdasarkan SNI 06-3730-95, kadar karbon terikat pada penelitian ini tidak memenuhi syarat (minimum 65%). Kondisi ini disebabkan komposisi biosorben tersusun atas sejumlah selulosa. Kandungan selulosa dalam adsorben akan mempengaruhi besarnya kadar karbon terikat. Kadar selulosa yang tinggi menyebabkan kadar karbon dalam biosorben tinggi, hal ini dikarenakan penyusun selulosa sebagian besar adalah unsur karbon (Suparno dkk, 2000)

Daya jerap/adsorpsi biosorben terhadap iodine mengindikasikan kemampuan biosorben untuk mengadsorpsi komponen dengan berat molekul rendah (Suzuki dkk, 2007). Dari tabel terlihat daya serap terhadap iodine diperoleh 180 mg/g. kondisi ini menunjukkan bahwa biosorben tidak memenuhi persyaratan komersial. Rendahnya daya serap terhadap iodine dipengaruhi oleh prosentase abu yang terbentuk. Keberadaan abu ini dapat menyumbat pori-pori pada struktur biosorben sehingga mengurangi luas permukaannya. Hal ini menyebabkan daya jerap (bilangan iodine) semakin menurun (Ikawati dkk, 2010). Daya serap biosorben terhadap Iodine dipengaruhi oleh luas permukaan. Biosorben dengan kemampuan menyerap iodine-nya tinggi berarti memiliki luas permukaan yang lebih besar dan juga memiliki struktur micro dan mesoporous yang lebih besar. Dengan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa biosorben hasil penelitian diduga mempunyai pori-pori yang besar hal ini terlihat dari analisa daya serap adsorben terhadap *methylene blue* yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan biosorben dalam menyerap larutan berwarna dan zat organik.

Methylene memiliki ukuran partikel yang cukup besar, sehingga pada saat berlangsungnya peristiwa adsorpsi, terjadi penyumbatan pori-pori, sehingga

partikel *methylene blue* tidak mampu masuk pada bagian pori yang ukurannya lebih kecil. Jadi secara tidak langsung kemampuan adsorpsi biosorben terhadap *methylene blue* dapat mengindikasikan distribusi pori yang berukuran besar yakni meso dan makropori. Kapasitas penyerapan yang tinggi menunjukkan biosorben mempunyai permukaan yang bermuatan negative sehingga mempunyai afinitas tinggi dengan *methylene blue* yang bermuatan positif. Dengan demikian dapat diketahui bahwa adsorben dari daun akasia terindikasi mempunyai luas permukaan pada meso pori atau makro pori yang didominasi oleh muatan negative sehingga mempunyai afinitas yang tinggi terhadap *methylene blue* yang bermuatan positif. Karakteristik fisik biosorben hasil penelitian diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik Fisik dan Kimia Biosorben Hasil Penelitian

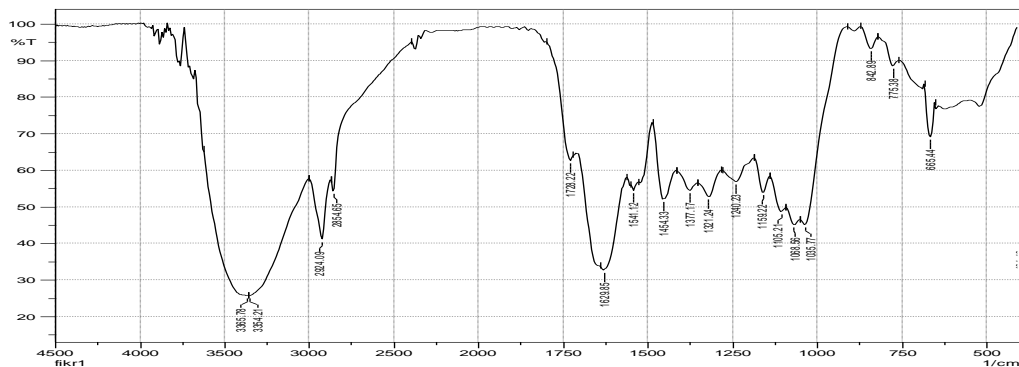
Komponen	satuan	Nilai	SNI	SII
Kadar air	%	7	Maks.15	Mak. 10
Kadar abu	%	4	Maks.10	Mak. 2,5
Kadar volatil	%	3,4	Maks.25	Mak. 15
Kadar karbon	%	85,6	Min. 65	-
Bilangan iodine	Mg/g	180	Min.750	Min 200
Bilangan methelylen blue	mg/g	520,48		60 g/g

3.1.2 Analisa Struktur Morfologi

3.1.2.1 Analisa FTIR (Fourier Transform Infrared)

Analisa FTIR bertujuan untuk mengetahui komposisi gugus fungsional biosorben dan gugus-gugus spesifik yang dapat berinteraksi dengan polutan. Hasil karakterisasi biosorben diperlihatkan pada Gambar 2. Dari spektrum tersebut gugus OH mempunyai frekwensi paling besar yang mengindikasikan adanya senyawa fenol, alkohol dan asam karboksilat sementara gugus N-H dan gugus C-H (karboksilat) dalam jumlah yang kecil mengindikasikan adanya senyawa amida, amina, alkena dan alkines. Informasi yang didapat dari spektrum tersebut kandungan selulosa, yang mempunyai gugus hidroksil yang mampu membentuk ikatan hidrogen pada bilangan 3343 cm⁻¹, gugus metin pada 2919 cm⁻¹

disamping gugus -C-O-C dari selulosa pada daerah 1241 cm^{-1} (Silverstein, 1981). Hasil spektra juga menunjukkan adanya ikatan glikosida (ikatan utama pada rantai polimer sellulosa) pada panjang gelombang 1435 cm^{-1} . Sementara itu adanya adsorbansi gugus aromatik saling tumpah tindih terjadi pada daerah sekitar 2300-2100 cm^{-1} adanya gugus C=C dan C=N yang merupakan senyawa alkine dan nitril. Pada daerah antara 1457,92-1631,48 cm^{-1} menunjukkan adanya senyawa aromatik. Pita lemah pada sekitar 1630 cm^{-1} menunjukkan sistem konjugasi dari alkena (C=C). Pita-pita lemah pada daerah antara 1250-1150 cm^{-1} kemungkinan disebabkan adanya gugus ester. adanya pita tajam-tajam pada daerah sidik jari yaitu daerah 800-700 cm^{-1} menunjukkan senyawa mengandung rantai alkil yang panjang. Hubungan panjang gelombang dan intensitas diperlihatkan pada Tabel 3



Gambar 2. Hasil Karakterisasi biosorben Menggunakan FTIR

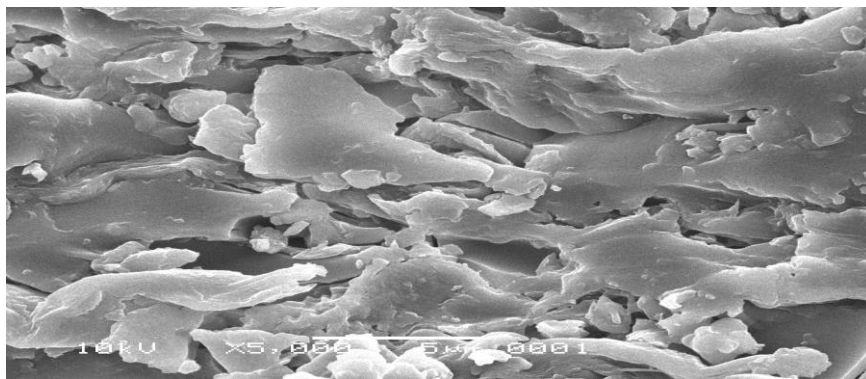
Tabel 3. Hasil Karakterisasi Biosorben Menggunakan FTIR

Posisi (cm^{-1})	Intensitas (%)	Posisi (cm^{-1})	Intensitas (%)
3748.94	85,3939	1631,48	44,4403
3343,96	42,9886	1457,92	46,731
2919,7	24,0273	1373,07	51,1238
2854,13	36,6612	1241,93	54,7026
2368.16	67,9807	1157,08	52,9995
2348,87	90,1089	1064,51	47,9991
2271.73	73,6892	844,669	74,1303
		721,247	71,3234

3.1.2.2 Analisa SEM (Scanning Electron Microscopy).

SEM dipakai untuk mengetahui struktur mikro suatu material meliputi tekstur, morfologi, komposisi dan informasi kristalografi permukaan partikel.

Morfologi yang diamati oleh SEM berupa bentuk, ukuran dan susunan partikel. Analisis SEM hasil penelitian diperlihatkan pada Gambar 3. Pada Gambar terlihat bentuk morfologis adsorben daun akasia mempunyai tekstur yang tidak merata. hampir seluruh permukaannya terdapat rongga. Namun karena berbentuk *powder* jarak antar partikel terlihat sangat rapat dan memiliki ukuran butir yang kecil. Sehingga tekstur permukaannya terlihat sangat halus Meskipun demikian rongga yang dimiliki pada permukaan adsorben memungkinkan untuk terjadinya proses penyerapan, dimana larutan akan memenuhi permukaan adsorben dan mengisi rongga yang kosong sehingga terjadi interaksi antara dinding sel adsorben dengan larutan.



Gambar 3. Hasil Karakterisasi biosorben menggunakan SEM

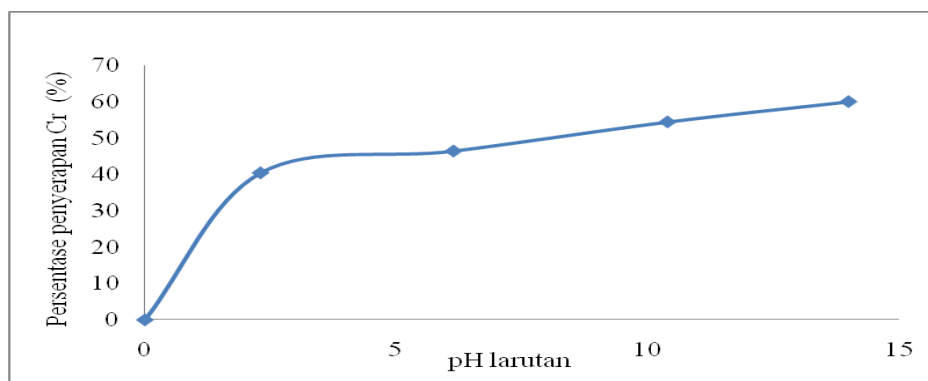
3.2 Analisa Daya Serap Terhadap Logam

Uji kinerja terhadap logam di lakukan pada jenis logam Cr(VI). Logam ini dianggap lebih berbahaya dan mudah terakumulasi di lingkungan. Percobaan dilakukan dalam tiga perlakuan yaitu analisa pengaruh PH, pengaruh konsentrasi awal dan jumlah adsorben terhadap persentase penyerapan. Hasil percobaan diperlihatkan pada Gambar 4 – Gambar 6

3.2.1 Pengaruh PH Larutan

Gambar 4 memperlihatkan Pengaruh pH terhadap prosentase penyerapan Cr(VI), dari Gambar terlihat semakin tinggi pH prosentase penyerapan meningkat. Hal ini diduga pada kondisi asam permukaan biosorben terprotonasi oleh asam

kuat menjadi bermuatan positif sehingga efisiensi dalam suasana asam meningkat. Nilai yang tepat untuk titik isolistrik sulit untuk ditentukan, namun muatan pada permukaan biosorben akan menjadi positif pada pH yang tinggi sehingga lebih memiliki daya tarik yang kuat untuk memfasilitasi biosorpsi terhadap ion-ion logam yang memiliki muatan negatif seperti $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (Tewari dkk., 2005).



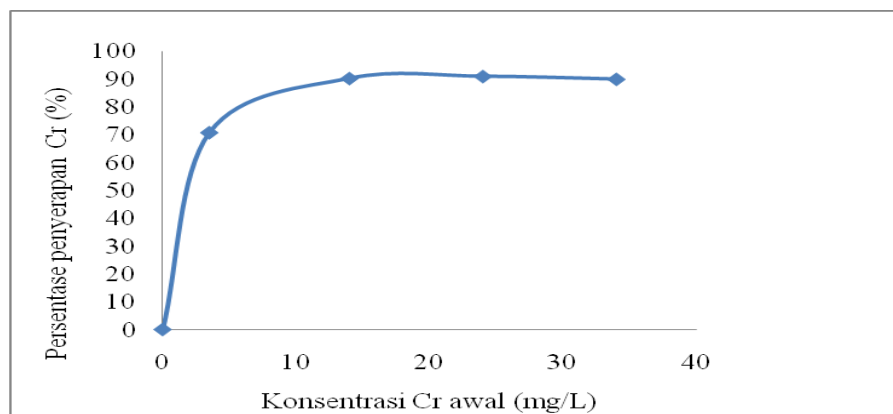
Gambar 4. Pengaruh pH terhadap persentase penyerapan Cr(VI)

3.2.2 Pengaruh konsentrasi awal larutan

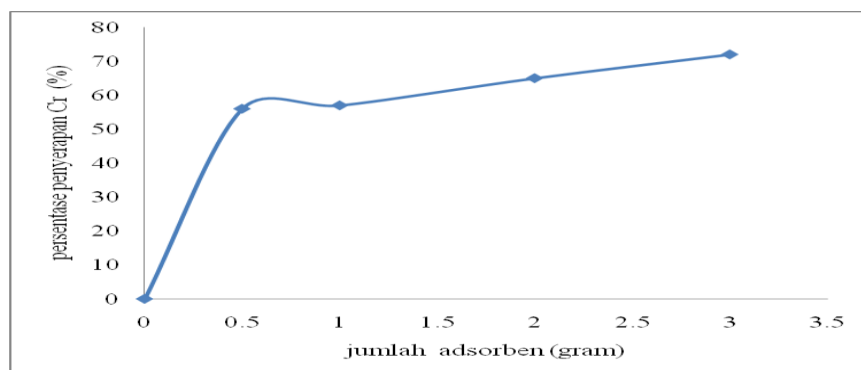
Gambar 5 memperlihatkan pengaruh konsentrasi awal terhadap prosentase penyerapan Cr(VI). Dari Gambar terlihat efisiensi penyerapan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi. Efisiensi maksimum diperoleh 91% pada konsentrasi 20 mg/L, jumlah adsorben 2 gram waktu pengadukan 1 jam. Hasil yang berbeda dilaporkan Ramadhan (2010) menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dengan variasi konsentrasi 2-20 mg/L efisiensi maksimum diperoleh pada 2 mg/L dan menurun seiring penambahan konsentrasi. Menurunnya efisiensi dengan meningkatnya konsentrasi logam dijelaskan oleh Qaiser S, dan Salemi AR (2006) sebagai akibat dari kompetisi ion logam dalam berinteraksi dengan pusat aktif biosorben. Pada konsentrasi yang rendah semua ion logam berinteraksi dengan sempurna dengan pusat aktif biosorben. Sementara penambahan konsentrasi tidak meningkatkan efisiensi dikarenakan pusat aktif mengalami kejenuhan.

3.2.3 Pengaruh berat biosorben

Gambar 6 memperlihatkan persentase penyerapan mencapai 70%. Semakin banyak jumlah biosorben persentase penyerapan juga meningkat. Kondisi ini disebabkan semakin banyak jumlah pusat aktif yang tersedia dan luas permukaan yang besar memungkinkan untuk terjadinya interaksi antara biosorben dengan logam. Hasil yang lebih besar diperoleh Hadjmohammadi (2010) menggunakan daun nanas pada jumlah biosorben 0,5 gram konsentrasi Cr(VI) 50 mg/L dan PH 3 mencapai 99%. Kondisi perlakuan dan tekstur biomassa sangat mempengaruhi perbedaan hasil eksperimen.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi awal terhadap prosentase penjerapan Cr(VI)



Gambar 6. Pengaruh jumlah biosorben terhadap persentase penjerapan Cr(VI)

4. Simpulan dan Saran

Daun akasia mangium (*accacia mangium wild*) berpotensi untuk dikembangkan menjadi media penyerap dalam proses biosorpsi logam. Efisiensi

maksimum diperoleh mencapai 90 % pada konsentrasi 20 mg/L, jumlah adsorben 2 gram waktu pengadukan 1 jam dengan PH netral. Pada analisa gugus fungsional terlihat biosorben limbah daun akasia didominasi oleh gugus OH, COOH, C=O dan NH₃ yang berasal dari tannin, selulosa dan lignin. Komposisi terbesar didominasi oleh gugus OH sehingga biosorben bermuatan negative. Sifat biosorben yang negative mempunyai afinitas yang besar terhadap penyisihan logam yang bermuatan positive sedangkan untuk logam bermuatan negative seperti Cr(VI) dipengaruhi oleh pH larutan. Dalam suasana asam biosorben terprotonasi akibat pengaruh asam kuat sehingga dalam suasana asam afinitas biosorben terhadap Cr meningkat.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mengamati pengaruh variabel waktu pengadukan, , kecepatan pengadukan serta pengaruh ukuran biosorben sehingga diperoleh informasi yang lengkap dalam suatu proses penyerapan logam berat Cr (VI)

6. Daftar Pustaka

1. Angelova, D., Uzunova, S., Staykov, S., dan Uzunov, I. (2010) : *Preparation of Biogenic Carbon/Silica Base Biosorbent for Removal of Petroleum Products Spills From Aqueous Medium*, Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, **45**(1), 25-32
2. Barlaini, A. A. (2005) : Permodelan Proses Biosorpsi Logam Berat pada Reaktor Fixed Bed: Suatu Kajian Analisis Sensitivitas, Thesis, Magister Ilmu Lingkungan, UNDIP, Semarang.
3. Charter, F. L., Carlo, A.M. dan Stanley, J. B. (1978) : *Termiticidal Komponents of Sorption onto Physically Pretreated Rosa centifolia Distillation Waste Biomass*, African Journal of Biotechnology, **9** (53), 9051- 9062
4. Ikawati dan Melati (2010) : *Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati*, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
5. Karman, J. (2012) : *Teknologi dan Proses Pengolahan Biomasa*, penerbit Alfabeta, Bandung

6. Mohammad Reza Hadjmohammadi, Mina Salary and Pourya Biparva (2010): Removal Cr(VI) From Aqueous Solution Using Pine Needles Powder as a Biosorben, Department of Chemistry, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
7. *Qaiser, S., Saleemi, A.R. and Umar, M. (2009) : Biosorption of lead(II) and chromium(VI) on groundnut hull : Equilibrium, kinetics and thermodynamics study*, Electronic journal of Biotechnology, **14** (4).
8. Ramadhan. B. (2010) : *Biosorpsi Logam Berat Cr(VI) dengan Menggunakan Biomassa Saccharomyces Cerevisiae*, Skripsi, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB.
9. Tewari N, Vasudevan P, Guha, B. K. (2005) : *Study on Biosorption of Cr(VI) by Mucor hiemalis*. Journal. Biochemical. Engineering, 23, 185-192.
10. Volesky, B. (2007) : *Biosorption: Application Aspects – Process Simulation Tools*, 69-80.