



TESIS-TK185401

**BIOREMOVAL LOGAM BERAT DARI LARUTAN
LOGAM SINTETIS DENGAN MENGGUNAKAN
BIOMASSA *BACILLUS CEREUS* DAN
PSEUDOMONAS PUTIDA YANG TERIMOBILISASI
SEBAGAI ADSORBEN”**

KHAIRUNNISA
02211650012006

DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. SRI RACHMANIA JULIASTUTI, M.ENG.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

BIOREMOVAL LOGAM BERAT DARI LARUTAN LOGAM SINTETIS DENGAN MENGGUNAKAN BIOMASSA *BACILLUS CEREUS* DAN *PSEUDOMONAS PUTIDA* YANG TERIMOBILISASI SEBAGAI ADSORBEN

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister
Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

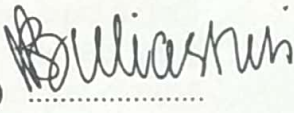
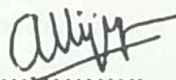
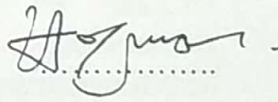
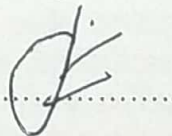
Khairunnisa

NRP. 02211650012006

Tanggal Ujian : 17 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng (Pembimbing) 
NIP. 19590730 198603 2 001
2. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng (Penguji 1) 
NIP. 19660523 199102 1 001
3. Dr.Eng. R. Darmawan, ST., M.T. (Penguji 2) 
NIP. 19780506 200912 1 001
4. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng (Penguji 3) 
NIP. 19611021 198603 1 001



**“BIOREMOVAL LOGAM BERAT DARI LARUTAN LOGAM SINTETIS
DENGAN MENGGUNAKAN BIOMASSA *BACILLUS CEREUS* DAN
PSEUDOMONAS PUTIDA YANG TERIMOBILISASI SEBAGAI
ADSORBEN”**

Disusun oleh : Khairunnisa (02211650012006)

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.

ABSTRAK

Logam berat adalah salah satu hasil dari proses pertambangan yang dapat menimbulkan dampak pada alam dan lingkungannya. Beberapa logam berat yang berbahaya dari hasil kegiatan pertambangan adalah logam Pb (timbal, Ni (Nikel) dan Cr (Kromium). Salah satu teknologi pengolahan limbah yang dapat menyisihkan logam berat yang bersifat racun dan berbahaya adalah teknologi biosorpsi. Selain itu teknologi alternative yang ramah lingkungan untuk mengolah limbah cair industri secara ekonomi layak digunakan. Proses biosorpsi dapat terjadi karena adanya material biologis yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung logam berat dengan afinitas tinggi sehingga mudah terikat dengan biosorben. Biosorpsi logam Pb, Ni dan Cr menggunakan limbah sintetik pada logam tunggal dan logam campuran yang diserap dengan menggunakan biomassa *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* yang di imobilisasi menggunakan Natrium alginate. Mengetahui kondisi terbaik penyerapan pada konsentrasi awal larutan, pH dan waktu kontak optimum pada proses penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} dengan menggunakan biosorben imobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida*. serta berapa banyak biosorben yang digunakan untuk memperoleh efisiensi removal yang tinggi. Mengetahui pengaruh efisiensi removal logam pada larutan logam campuran oleh biosorben imobilisasi *Bacillus cereus* dan imobilisasi *Pseudomonas putida* Mengevaluasi kinetika dan isoterm adsorpsi yang paling sesuai pada proses biosorpsi ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} menggunakan biosorben *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* yang diimobilisasi pada sistem batch. Proses biosorpsi dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti variasi pH yang dilakukan pada pH 3-8, variasi waktu kontak dilakukan selama 5-240 menit dan variasi konsentrasi awal logam 25-200 mg/l dan variasi biomassa 150, 200, 300, 400 dan 500 mg pada proses sistem batch. Pada logam campuran dilakukan dengan campuran biner dan tersier dengan model $Ni^{2+}:Pb^{2+}$; $Ni^{2+}:Cr^{6+}$; $Pb^{2+}:Ni^{2+}$; $Pb^{2+}:Cr^{6+}$ dan $Cr^{6+}:Ni^{2+}$; $Cr^{6+}:Pb^{2+}$ pada konsentrasi $Ni^{2+}:Pb^{2+}$ dan Cr^{6+} 50 mg/l. Kemudian sistem tersier dengan sistem $Ni^{2+}:Pb^{2+}:Cr^{6+}$. Analisa menggunakan titrasi dan AAS untuk mengetahui berapa konsentrasi logam, SEM-EDXA dan FT-IR untuk mengetahui morfologi biosorben dan karakterisasi gugus fungsi yang ada pada biosorben. Untuk menentukan kapasitas maksimum biosorpsi pada suatu adsorben ditentukan dengan menggunakan isotermis Langmuir dan Freundlich. Untuk mengetahui kinetika penyerapan dideksripsikan oleh pseudo first orde dan pseudo second orde. Hasil yang diperoleh untuk biosorben Imobilisasi *B.cereus* untuk ion logam Ni^{2+} pH terbaik 6; waktu terbaik 60 menit; Kapasitas penyerapan

maksimum (Q_{maks}) 57,80 mg ion Ni/g adsorben dan mampu meremoval 90,45% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Ni. Untuk ion logam Pb^{2+} pH terbaik 5; waktu terbaik 90 menit, Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) 46,29 mg ion Pb/adsorben dan mampu meremoval 89,25% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Pb. Kemudian untuk ion logam Cr^{6+} pH 4; waktu terbaik 30 menit, Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) 52,91 mg Ion Cr/g adsorben dan mampu meremoval 89,69% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Cr. Kemudian hasil yang diperoleh untuk biosorben Imobilisasi *P.putida*, untuk ion logam Ni^{2+} pH terbaik 5; waktu terbaik 60 menit, Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) 46,81 mg Ion Ni/g adsorben dan mampu meremoval 75,4% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Ni. Untuk ion logam Pb^{2+} pH terbaik 5; waktu terbaik 60 menit; Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) 48,07 mg Ion Pb/g adsorben dan mampu meremoval 82,1% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Pb, dan untuk ion logam Cr^{6+} pH 4 dan waktu terbaik 60 menit, diperoleh Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) 49,04 mg Ion Cr/g adsorben dan mampu meremoval 76,8% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Cr. Proses penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} mengikuti persamaan Langmuir yang berarti penyerapan berlangsung secara kimia dengan harga koefisien regresi R^2 masing-masing ion $>0,95$. Berdasarkan nilai Karakteristik untuk mengindikasikan isoterm Langmuir (R_L) diperoleh nilai $0 < R_L < 1$ maka dapat dinyatakan bahwa model ini “*favourable*” pada kedua biosorben tersebut. Kinetika ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} mengikuti *pseudo second order* berlangsung lebih cepat karena adanya ikatan kimia antara adsorben dan ion logam. Pada analisa SEM-EDXA permukaan kedua biosorben tampak beda sebelum dan sesudah dikontakkan ion-ion logam. Begitu pula pada analisa menggunakan FT-IR terjadi pergeseran panjang gelombang sebelum dan sesudah dikontakkan ion-ion logam. Dengan demikian, proses adsorpsi tampaknya dianggap sebagai pertukaran ion dengan kompleksasi atau interaksi fisik.

Kata Kunci : logam berat sintetis, Biosorpsi, Imobilisasi, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, kinetika

**“BIOREMOVAL HEAVY METALS FROM FROM AQUEOUS
SYNTHETIC SOLUTION USED IMMOBILIZED *BACILLUS CEREUS*
AND *PSEUDOMONAS PUTIDA* AS ADSORBENT”**

By : Khairunnisa (02211650012006)

Advisor : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.

ABSTRACT

Heavy metal is one of the results of the mining process that can impact on nature and the environment. Some harmful heavy metals from mining activities is a result of metals (lead Pb, Ni (Nickel) and Cr (Chromium)). One of waste treatment technology that can put aside the heavy metals toxic and dangerous is biosorption technology. In addition the technology of environment-friendly alternative to liquid processing waste industry economically viable use. Biosorption process can occur due to biological material which is called biosorbent and the existence of a solution containing heavy metals with high affinity so easily tied to biosorbent. Biosorption metals Pb, Ni and Cr use synthetic waste on single metals and metal mixture was adsorbed using biomass *Bacillus cereus*, and *Pseudomonas putida* which in immobilized using Sodium alginate. Find out the best conditions of absorption on the initial concentration of solution, The best on pH and contact time on the process of absorption of the metal ion Ni^{2+} , Pb^{2+} , and Cr^{6+} using biosorbent immobilized *Bacillus cereus* and *Pseudomonas putida*. and how many biosorbent that is used to obtain high removal efficiency. Knowing the influence the efficiency of removal of metal on metal solution mix by biosorbent immobilized *Bacillus cereus* and *Pseudomonas putida* immobilized evaluated the kinetics and the most suitable isotherme adsorption on biosorption process metals Ni^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{6+} use biosorbent immobilized *Bacillus cereus* and *Pseudomonas putida* on a batch system. The process of biosorption influenced by several parameters such as pH variations performed at pH 3-8, a variation of the contact time during of 5-240 minutes and early metal concentration variations of 25-200 mg/l and 150-500 with biomass variation 150 mg 200,300,400 and 500 mg on process the batch system. On metal mixture is done with a mix of binary and tertiary model $Ni^{2+}:Pb^{2+}$; $Ni^{2+}:Cr^{6+}$; $Pb^{2+}:Ni^{2+}$; $Pb^{2+}:Cr^{6+}$ dan $Cr^{6+}:Ni^{2+}$; $Cr^{6+}:Pb^{2+}$ at the concentration of $Ni^{2+}:Pb^{2+}$ and Cr^{6+} 50 mg/l and then the tertiary system with $Ni^{2+}:Pb^{2+}:Cr^{6+}$. Analysis of using titration and AAS to know how the concentrations of metals, SEM-EDXA and FT-IR to know biosorbent and morphology characterization of functional groups in biosorbent. To determine the maximum capacity of the biosorpsi on an adsorbent is determined by using the isothermis Langmuir and Freundlich. To know absorption kinetics by *pseudo first order* and *Pseudo second order*. The results obtained for biosorbent of immobilized *B.cereus* to metal ion

Ni²⁺ the best pH 6; 60 minutes; Maximum absorption capacity (Qmaks) 57.80 mg of Ni/g ion adsorbent and capable removal 90.45% metal ions at 0.5 gr biosorbent/150 mL solution of Ni. For metal ion Pb²⁺ the best pH 5; 90 minutes, the maximum absorption Capacity (Qmaks) 46.29 mg Pb/ion adsorbent and capable removal 89.25% metal ions at 0.5 gr biosorbent/150 mL solution Pb, and then to the metal ion Cr⁶⁺ pH 4; the best time of 30 minutes, maximum absorption Capacity (Qmaks) 52.91 mg/g Cr Ion adsorbent and capable removal 89.69% of the metal ion in 0.5 grams of biosorben/150 mL of a solution of Cr. The results obtained for the biosorbent immobilized of *P.putida*, for metal ion Ni²⁺ the best pH 5; 60 minutes, maximum absorption Capacity (Qmaks) 46.81 mg of Ni/g Ion adsorbent and capable removal 75.4% of the metal ion in 0.5 gr of biosorben/150 mL solution of Ni. For metal ion Pb²⁺ the best pH 5; time of 60 minutes; Maximum absorption capacity (Qmaks) 48.07 mg Pb/g Ion adsorbent and capable removal 82.1% of the metal ion in 0.5 gr of biosorbent/150 mL solution of Pb, and metal ion for Cr⁶⁺ pH 4 and 60 minutes, obtained the maximum absorption Capacity (Qmaks) 49.04 Ion Cr mg/g adsorbents and capable removal 76.8% of the metal ion in 0.5 gr of biosorbent/150 mL of a solution of Cr. Process of absorption of the metal ion Ni²⁺, Pb²⁺, and Cr⁶⁺ follow the Langmuir equation which means the absorption takes place regression coefficient R² priced each ion > 0.95. Based on the value of the characteristic to indicate isotherme Langmuir (R_L) obtained the value 0 < R_L < 1 it can be stated that this model is "favourable" on both biosorben. Kinetics of metal ion Ni²⁺, Pb²⁺, and Cr⁶⁺ follow *pseudo second order* is taking place more quickly because of a chemical bond between adsorbent and metal ions. On analysis of SEM-EDXA surface second biosorben looks different before and after the dikontakkan of the metal ions. Similarly, on analysis using FT-IR wavelength shifts occurred before and after the dikontakkan ions of metals adsorption process, thus apparently considered as ion exchange with complexation or physical interaction.

Key words: heavy metals, Biosorption, Immobilized, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, Kinetics

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah kemudian pertolongan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tesis ini untuk memenuhi syarat lulus dengan judul penelitian :“**Bioremoval Logam Berat Dari Larutan Logam Sintetis Dengan Menggunakan Biomassa *Bacillus Cereus* dan *Pseudomonas putida* Yang Terimobilisasi Sebagai Adsorben**”.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas segala bantuannya dalam penyelesaian Tesis ini kepada:

1. Ibu Dr.Ir.Sri Rachmania Juliastuti,M.Eng, selaku Dosen Pembimbing dan juga Kepala Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
2. Bapak Juwari, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
3. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng., selaku Kepala Program Studi Pascasarjana Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
4. Kedua orang tua tercinta serta seluruh saudara-saudara penulis yang memberikan dukungan penuh serta doa dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini
5. Semua rekan - rekan Laboratorium Pengolahan Limbah Industri K-53,K-54 dan K-55 serta rekan-rekan LJ yang telah menghibur penulis ketika bosan dalam menyelesaikan laporan ini,
6. Rekan-rekan pascasarjana Mbak Trias, Mas Alfain, Mas Iqbal, Chika, Mbak Remi dan Pak Ghondo yang membantu penulis dalam proses belajar dan penyelesaian tesis ini,
7. Teman-teman kos HOG, Rere, adin, Intan,Icha,Ima,Abc yang menerima segala keluhan penulis,

Penulis menyadari, Tugas Akhir ini masih banyak kelemahan dan kekurangan nya. Karena itu kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan senang hati, mudah – mudahan keberadaan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan kita.

Surabaya, Januari 2019

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Logam Berat	9
1. Logam Timbal	10
2. Logam Nikel	11
3. Logam Kromium	13
2.2 Teknologi Biosorpsi	14
2.3 Struktur dan Mekanisme penyerapan bakteri	16
2.4 Jenis Bakteri.....	20
2.5 Imobilisasi	22
2.6 Alginate	23
2.7 Isotermis Adsorpsi	24
A. Isotermis Adsorpsi Langmuir	25
B. Isotermis Adsorpsi Freundlich	27
2.8 Model kinetika pada biosorpsi dalam sistrm batch.....	28
A. Model Kinetika Pseudo-First Orde	29
B. Model Kinetika Pseudo-Second Orde.....	29
2.9 Desorpsi	30
2.10 Penelitian Terdahulu.....	32
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Rancangan Penelitian.....	35
3.2 Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian.....	35
A. Kondisi Operasi	35

B. Variabel Penelitian.....	36
3.3 Bahan dan Alat	36
A. Bahan	36
B. Alat.....	36
3.4 Prosedur Penelitian	39
A. Persiapan Limbah Sintetis	39
B. Preparasi Mikroorganisme	39
C. Prosedur Imobilisasi Biomassa	39
D. Proses Bioadsorpsi	40
1. Logam tunggal	40
a. Pengaruh pH.....	40
b. Pengaruh waktu	40
c. Pengaruh konsentrasi logam	41
d. Pengaruh massa biomassa.....	41
2. Logam Campuran	41
a. Logam campuran biner	41
b. Logam campuran tersier	42
3. Desorpsi	42
3.5 Prosedur Analisa.....	42
a. Analisa Logam	42
b. Analisa SEM.....	44
c. Analisa FT-IR	44
3.6 Perhitungan Hasil Penelitian.....	44
1. % Removal dan Kapasitas Penyerapan.....	44
2. Model Biosorpsi Isothermal	45
3. Kinetika Isothermal Biosorpsi	45
3.7 Rencana Jadwal Kegiatan	46
BAB 4 PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Morfologi Imobilisasi <i>Bacillus cereus</i>	47
4.11 Analisa FTIR	47
4.12 Analisa SEM-EDX	53
4.2 Pengaruh pH	54
4.3 Pengaruh waktu	63
4.4 Pengaruh konsentrasi larutan	65
4.5 Pengaruh Berat biosorben.....	67
4.6 Studi adsorpsi.....	70

4.7 Studi kinetika	74
4.8 Multi logam	79
4.9 Desorpsi	82
BAB 4 KESIMPULAN	
A. Kesimpulan	85
B. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	ix
DAFTAR NOTASI	xxiii
APPENDIKS A	
APPENDIKS B	
APPENDIKS C	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logam Timbal	10
Gambar 2.2 Logam Nikel.....	12
Gambar 2.3 Logam Kromium.....	13
Gambar 2.4 Struktur Peptidoglikan	18
Gambar 2.5 Mekanisme biosorpsi	19
Gambar 2.6 Bakteri <i>Bacillus cereus</i>	20
Gambar 2.7 Bakteri <i>Pseudomonas putida</i>	23
Gambar 2.8 Pendekatan Isotherm Langmuir	25
Gambar 3.1 Skema Alat Penelitian.....	37
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1 Analisa FTIR <i>B.cereus</i>	49
Gambar 4.2 Analisa FTIR <i>P.putida</i>	51
Gambar 4.3 Hasil Analisa SEM <i>B.cereus</i>	54
Gambar 4.4 Hasil Analisa SEM <i>P.putida</i>	55
Gambar 4.5 Hasil Analisa EDXA <i>B.cereus</i>	56
Gambar 4.6 Hasil Analisa EDXA <i>P.putida</i>	57
Gambar 4.7 Mekanisme reaksi.....	59
Gambar 4.8 Hasil Analisa Pengaruh pH pada <i>B.cereus</i>	60
Gambar 4.9 Hasil Analisa Pengaruh pH pada <i>P.putida</i>	60
Gambar 4.10 Mekanisme Reduksi Cr.....	62
Gambar 4.11 Hasil Analisa Pengaruh Waktu pada <i>B.cereus</i>	64
Gambar 4.12 Hasil Analisa Pengaruh Waktu pada <i>P.putida</i>	64
Gambar 4.13 Hasil Pengaruh Konsentrasi logam pada <i>B.cereus</i>	66
Gambar 4.14 Hasil Pengaruh Konsentrasi logam pada <i>P.putida</i>	66
Gambar 4.15 Pengaruh Berat biosorben pada <i>B.cereus</i>	68
Gambar 4.16 Pengaruh Berat biosorben pada <i>P.putida</i>	69
Gambar 4.17 Model Isotermal pada <i>B.cereus</i>	71
Gambar 4.18 Model Isotermal pada <i>P.putida</i>	72
Gambar 4.19 Model kinetika pada <i>B.cereus</i>	76
Gambar 4.20 Model kinetika <i>P.putida</i>	77
Gambar 4.21 Desorpsi	83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan Biosorpsi dan Bioakumulasi	3
Tabel 2.1 Penelitian terdahulu	32
Tabel 3.7 Rancangan Jadwal kegiatan	46
Tabel 4.1 Panjang Gelombang FTIR <i>B.cereus</i>	52
Tabel 4.2 Panjang Gelombang FTIR <i>P.putida</i>	52
Tabel 4.3 Konstanta Langmuir <i>B.cereus</i>	73
Tabel 4.4 Konstanta Freundlich <i>B.cereus</i>	73
Tabel 4.5 Konstanta Langmuir <i>P.putida</i>	73
Tabel 4.6 Konstanta Freundlich <i>P.putida</i>	73
Tabel 4.7 Parameter Kinetika Pseudo first dan second order <i>B.cereus</i>	78
Tabel 4.8 Parameter Kinetika Pseudo first dan second order <i>P.putida</i>	78
Tabel 4.9 Pengaruh logam campuran Biner <i>B.cereus</i>	80
Tabel 4.10 Pengaruh logam campuran Tersier <i>B.cereus</i>	80
Tabel 4.11 Pengaruh logam campuran Biner <i>P.putida</i>	81
Tabel 4.12 Pengaruh logam campuran Tersier <i>P.putida</i>	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan merupakan suatu bidang usaha yang karena sifat kegiatannya pada dasarnya selalu menimbulkan dampak pada alam lingkungannya. Salah satu komoditi yang banyak diusahakan saat ini pertambangan mineral nikel di kabupaten Kolaka Propinsi Sulawesi Tenggara yang terletak di wilayah pesisir laut. Pertambangan ini merupakan salah satu sektor terbesar yang memberikan kontribusi bagi pemerintah untuk pembangunan yang saat ini sedang direalisasikan, khususnya di kabupaten Kolaka. Namun selain memberikan kontribusi bagi pemerintah, pertambangan juga menimbulkan dampak terhadap lingkungan sekitar seperti dampak yang ditimbulkan dari aktivitas pertambangan berupa perubahan rona lingkungan (bentuk fisik dan kimia), pencemaran tanah, air maupun udara (Zubayr, 2009).

Aktivitas pertambangan yang dilakukan oleh perusahaan pertambangan secara geografis berada pada wilayah perbukitan sekitar pesisir Kecamatan Pomalaa dan berdampingan dengan aktivitas kenelayanan masyarakat pada daerah pesisirnya yaitu pengembangan keramba jaring apung, tambak budidaya teripang dan budidaya rumput laut. Selain menghasilkan bijih nikel, perusahaan-perusahaan penambangan tersebut menghasilkan beberapa jenis limbah cair yang berasal dari eksplorasi yang dapat mempengaruhi kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat sekitar (Zubayr, 2009). Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri ini umumnya mengandung unsur logam berat beracun seperti Hg, Cd, Pb, Cu, Zn dan Ni (Sanusi, 1985). Selain memiliki daya cemar yang tinggi juga sering kali bersifat berbahaya dan beracun, oleh karena itu banyak dari limbah yang dihasilkan oleh industri tergolong ke dalam bahan berbahaya beracun (B3) (Sudarmaji, dkk, 2006),

Daerah pesisir mempunyai batasan kemampuan tertentu untuk menerima pembuangan limbah hasil pengolahan sejauh mana pertambangan tersebut masih berada dalam batas daya dukung perairan yang bersangkutan (Dahuri, 2005). Apabila jumlah zat pencemar dari limbah/tailing hasil pengolahan melebihi daya dukungnya, maka kemampuan untuk memulihkan dirinya pun tidak ada lagi.

Sehingga dapat mengakibatkan menurunnya kualitas perairan daerah di wilayah pesisir dan terjadi pencemaran air. Tercemarnya kualitas di wilayah pesisir akan berpengaruh terhadap kehidupan dari organisme air yang ada didalamnya dan sosial ekonomi masyarakat sekitarnya. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan Zubayr, 2009 pencemaran logam berat di daerah sungai, pantai dan luar pabrik mengandung beberapa logam berat seperti, kandungan Seng (Zn) kisaran 0.003-0.049 mg/l, konsentrasi ini belum melampaui baku mutu Kepmen LH No 51 Tahun 2004 sebesar 0.05 mg/l. Selanjutnya Khrom (Cr) dalam penelitian ditemukan Cr^{6+} dengan kandungan Cr^{6+} kisaran 0.001-0.16 mg/l. Konsentrasi ini melebihi baku mutu Kepmen-LH No 51 2004 yaitu 0.006 mg/l. Logam timbal (Pb) ditemukan kisaran 0.006-0.016 mg/l melebihi baku mutu Kepmen-LH No 51 2004 baku mutu air laut yaitu sebesar 0.008 mg/l. Logam Ni ditemukan memiliki konsentrasi 0.003 – 0.103 mg/l. Hal ini merujuk pada Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 telah melewati ambang batas yaitu 0.005 mg/l.

Air yang mengandung logam berat tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat dalam limbah biasanya berada dalam berbagai macam kondisi seperti tidak terlarut, terlarut, tereduksi, teroksidasi dan kompleks. Logam berat menjadi berbahaya disebabkan system bioakumulasi, yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia didalam tubuh makhluk hidup. Sehingga perlu dilakukan pengolahan khusus untuk air asam tambang yang mengandung logam berat. Menurut PP No.101 tahun 2014 tentang pengolahan limbah B3, sebagian termasuk dalam kategori limbah yang berbahaya dan beracun dengan demikian air asam tambang yang mengandung logam berat harus dikelola sesuai dengan tata cara pengolahan limbah B3.

Beberapa metode konvensional yang digunakan yaitu secara kimia fisika untuk pengolahan limbah logam berat antara lain dengan cara oksidasi dan reduksi, koagulasi dan sedimentasi, filtrasi, ion exchange, reverse osmosis, pengolahan elektrokimia dan penguapan. Hanya saja metode ini memiliki kelemahan diantaranya biaya instalasi dan operasional yang tinggi, banyak membutuhkan bahan kimia dan terbentuknya lumpur (*sludge*) yang banyak sehingga bermasalah karena memerlukan pengolahan lanjutan dan biaya tinggi dalam pembuangannya. (Baik., dkk 2002).

Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu cara pengolahan air limbah dengan suatu teknologi alternatif yang ramah lingkungan. Teknologi alternatif untuk mengolah limbah dengan logam berat adalah dengan proses bioakumulasi dan biosorpsi. Proses biosorpsi adalah proses terkonsentrasinya larutan logam pada permukaan dinding sel terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel dengan cara adsorpsi secara fisik dan pertukaran ion dengan pembentukan kompleks ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti carbonyl, hydroxy, thiol, amino yang berada pada dinding sel. Proses bioakumulasi yaitu terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau akumulasi intraseluler ion logam tersebut. Perbandingan antara proses biosorpsi dan bioakumulasi dapat dilihat pada **tabel 1.1** berikut :

Tabel 1.1. Perbandingan antara Biosorpsi dan Bioakumulasi

No	Biosorpsi	Bioakumulasi
1	Proses pasif	Proses aktif
2	Biomassa tidak hidup dan hidup	Biomassa hidup
3	Logam terikat pada permukaan sel	Logam terikat hingga intraseluler
4	Proses reversibel	Parsial proses reversibel
5	Proses Penyerapan cepat	Proses terjadi 2 tahap
6	Tidak dikontrol oleh metabolisme	Dikontrol oleh metabolisme
7	Tidak berpengaruh dengan bahaya logam	Berbahaya pada mikroba karena efek beracun yang disebabkan kontaminan
8	Tidak terjadi pertumbuhan sel	Terjadi pertumbuhan sel
9	Tidak membutuhkan tambahan nutrisi	Mebutuhkan tambahan nutrisi
10	Konsentrasi keseimbangan ion logam intermediate	Konsentrasi keseimbangan ion logam sangat lambat

Chojnacka,2010

Berdasarkan perbandingan pada **tabel 1.1** diatas dipilih proses dengan menggunakan biosorpsi dengan mempertimbangkan proses penyerapan cepat, tidak berpengaruh terhadap toksisitas logam dan tidak membutuhkan tambahan nutrisi selama proses berlangsung. Selain itu biosorben dapat digunakan kembali untuk proses berikutnya, biaya oprasi rendah. Proses ini sederhana mirip seperti proses konvensional yaitu pertukaran ion yang terjadi antara ion pada logam dan ion yang terdapat pada dinding sel biosorben (Chojnacka,2010).

Biosorben yang mampu untuk removal logam berat diantaranya bakteri, alga dan jamur. Diantara biosorben tersebut, bakteri mampu melakukan perlawanan untuk menetralkan logam berat. Dinding sel pada bakteri terdapat peptidoglikan yang terletak diluar membran sitoplasma yang bertanggung jawab untuk kekuatan pada dinding sel bakteri. Dinding sel bakteri terdiri dari dua jenis yaitu dinding sel gram positif dan dinding sel gram negatif. Dinding sel gram positif lebih tebal dibandingkan dinding sel gram negatif karena tersusun atas 90% peptidoglikan sedangkan dinding sel gram negatif lebih tipis karena mengandung 10-20% peptidoglikan selain itu, mengandung membran luar dengan komposisi fosfolipid dan lipopolisakarida. Kedua jenis komponen dinding sel pada bakteri tersebut menghasilkan komponen seperti group karboksil, phosphate, amina, group hidroksil, dan komponen yang bermuatan negatif lainnya merupakan komponen utama yang bertanggung jawab untuk mengikat ion logam pada permukaan dinding sel (Vijayaraghavan, 2008).

Biosorben menggunakan bakteri memiliki keuntungan seperti kapasitas penyerapan ion logam yang tinggi, biaya rendah dan perpindahan massa pada partikel baik. Hanya saja memiliki kekurangan yaitu masalah pemisahan antara solid dan liquid, kemungkinan biomassa terjadi *swelling*, ketidakmampuan bakteri untuk regenerasi atau penggunaan kembali biosorben. Sehingga beberapa tahun terakhir peneliti melakukan beberapa teknik untuk membuat biosorben yang cocok untuk diaplikasikan didalam proses biosorpsi yaitu imobilisasi dengan polimer alami dan sintesis yang diaplikasikan pada treatment kontaminan untuk meningkatkan laju biosorpsi, kinerja mikroba dan stabilitas biosorben dibandingkan dengan biomassa alami. Teknik jebakan untuk imobilisasi biomassa dapat membuat biomassa mampu meremoval kontaminat, mampu bertahan pada kondisi yang toxic dan dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan mudah untuk pemisahan antara biosorben dan cairan kemudian mampu digunakan kembali.

Imobilisasi menggunakan alginat mampu meningkatkan penyerapan pada air yang mengandung logam tercemar, karena sodium alginat diperoleh dari dinding sel alga yang berbentuk gel. Sodium alginat merupakan polisakarida alami yang mengandung β -d-mannuronic asam dan α -l-guluronic, sodium alginat mengandung banyak gugus karboksil bebas (-COO-) sebagai flokulan polimer dengan kapasitas

adsorpsi yang tinggi. Sodium alginat dapat bereaksi dengan kation trivalen yaitu (Ca^{2+} , Ba^{2+} dan Fe^{3+}) untuk menghasilkan gel yang stabil. yang telah dibuktikan bahwa mampu mengatasi masalah lingkungan yang tercemar. Selain itu, struktur alginat makroskopik sehingga dapat memberikan hasil yang baik sebagai dasar untuk diaplikasikan pada proses imobilisasi (Vijayaraghavan,2008).

Bakteri yang akhir-akhir ini digunakan untuk biosorpsi logam adalah *Bacillus cereus* yang diimobilisasi menggunakan alginat. *Bacillus cereus* memiliki karakter berbentuk batang, gram positif, aerob, motil, memiliki endospora (spora pusat tunggal) dengan katalase positif dan aktivitas oksidase. *Bacillus cereus* merupakan bakteri gram positif yang secara alami mengandung dinding yang bermuatan negative. Ini dikarenakan kandungan fosfat dan asam teikoat yang mengikat dan mengatur pergerakan kation sehingga logam-logam bermuatan positif yang terlarut di dalam limbah akan terikat oleh dinding bakteri. Selain sifat muatan dindingnya, terdapat pula gugus carboxyl, amine, hydroxyl, phosphate dan sulfhydryl yang terkandung dalam permukaan sel tersebut memiliki potensi untuk mengadsorpsi logam berat yang terkandung dalam limbah. Jika dibandingkan dengan beberapa bakteri lainnya yang diteliti, *Bacillus cereus* memiliki kemampuan resistensi yang paling tinggi terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan.

Selain *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida* mampu mengadsorpsi logam berat dalam larutan. Hal ini disebabkan karena komponen dinding cell mengandung 10-20% peptidoglikan selain itu, mengandung membran luar dengan komposisi fosfolipid dan lipopolisakarida yang berperan dalam proses penyerapan logam.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait proses biosorpsi menggunakan imobilisasi sel menggunakan bakteri *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida*. Penelitian yang dilakukan S.Paul.,dkk 2007, biosorpsi Pb(II) menggunakan *Bacillus cereus* yang diimobilisasi menggunakan alginat mampu removal logam Pb(II) 99% pada pH 6 selama 270 menit proses adsorpsi di deskripsikan dengan kinetika pseudo second orde. Penelitian yang telah dilakukan D.Bera,dkk.,2007 Biosorpsi Cr^{6+} dengan imobilisasi sel *Bacillus cereus* menggunakan calcium alginat, agarose dan agar. Diperoleh hasil yaitu imobilisasi menggunakan alginat mampu removal Cr^{6+} 92,5% lebih besar dibandingkan agarose 83% dan agar 75% dengan kapasitas penyerapan masing-masing yaitu 14 mg/g, 12,3 mg/g

dan 9 mg/g . Penelitian yang dilakukan Murugesan A.G dan S.Maheswari,2007 Biosorpsi Cr^{6+} dengan menggunakan bakteri *Pseudomonas putida* hidup, bakteri hidup *Pseudomonas putida* yang di imobilisasi menggunakan alginat dan bakteri mati yang diimobilisasi. Hasil yang diperoleh 44% untuk sel hidup, 49,6% untuk sel hidup yang diimobilisasi dan 66,55% untuk imobilisasi sel menggunakan alginat.

Berdasarkan dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan, kurangnya proses biosorpsi pada logam campuran, padahal limbah dari hasil pertambangan mengandung lebih dari 1 logam. Sehingga peneliti mencoba untuk melakukan removal logam metode yang efektif, efisien, ekonomis dalam mengolah polutan dan tidak merusak lingkungan. Pengembangan proses biologis menggunakan biosorben *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* yang diimobilisasi, kemudian diterapkan pada logam tunggal dan logam campuran . Dalam rangka untuk mencegah pencemaran logam pada air dalam konsentrasi rendah maupun tinggi.

1.2 Perumusan Masalah

Aktivitas pertambangan yang dilakukan oleh perusahaan pertambangan menghasilkan beberapa jenis limbah cair yang berasal dari eksplorasi yang dapat mempengaruhi kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat sekitar.Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri ini umumnya mengandung unsur logam berat beracun seperti Cr,Pb dan Ni.Air yang mengandung logam berat tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat dalam limbah biasanya berada dalam berbagai macam kondisi seperti tidak terlarut, terlarut, tereduksi, teroksidasi dan kompleks. Logam berat menjadi berbahaya disebabkan system bioakumulasi, yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia didalam tubuh makhluk hidup. Sehingga perlu dilakukan pengolahan khusus untuk air asam tambang yang mengandung logam berat. Menurut PP No.101 tahun 2014 tentang pengolahan limbah B3, sebagian termasuk dalam kategori limbah yang berbahaya dan beracun dengan demikian air asam tambang yang mengandung logam berat harus dikelola sesuai dengan tata cara pengolahan limbah B3.

Berdasarkan uraian tersebut, maka rumusan masalah yang perlu disusun adalah:

1. Bagaimana pengaruh pH, waktu kontak, konsentrasi awal larutan logam dan berat biosorben pada proses penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} pada biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* ?
2. Bagaimana pengaruh efisiensi removal logam yang diterapkan pada larutan logam campuran oleh biosorben pada proses penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} pada biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida*?
3. Jenis isoterm adsorpsi dan kinetika apakah yang paling sesuai pada proses biosorpsi ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} dengan biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan diatas, penelitian dilakukan dilaboratorium Pengolahan Limbah Industri Departemen Teknik Kimia FTI ITS dalam skala batch dengan tujuan :

1. Mengetahui kondisi terbaik penyerapan pada konsentrasi awal larutan , pH dan waktu kontak terbaik pada proses penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} pada biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida*. serta berapa banyak biosorben yang digunakan untuk memperoleh efisiensi removal yang tinggi.
2. Mengetahui pengaruh efisiensi removal logam pada larutan logam campuran oleh biosorben imobilisasi *Bacillus cereus* dan imobilisasi *Pseudomonas putida*
3. Mengevaluasi kinetika dan isoterm adsorpsi yang paling sesuai pada proses biosorpsi ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} menggunakan biosorben *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* yang diimmobilisasi pada sistem batch.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi tentang potensi *B.cereus* dan *P. putida* yang diimmobilisasi menggunakan alginat untuk menurunkan kadar kromium, Nikel dan Timbal pada limbah industri sehingga dapat dijadikan referensi dalam pengolahan limbah logam untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Selain itu hasil penelitian juga diharapkan dapat memberikan informasi adanya alternatif untuk meningkatkan kapasitas penyerapan logam.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Logam Berat

Logam berat adalah logam yang memiliki bobot atom lebih besar dari kalsium ($>40.08 \text{ g/mol}$) dan densitas lebih dari 5 g/cm^3 (Wulandari,2007). Kelompok logam berat memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

1. Memiliki berat jenis yang sangat besar (>5)
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktinida
3. Mempunyai respon biokimia spesifik pada organisme hidup

Unsur-unsur logam berat tersebar ke permukaan tanah,air dan udara. Logam berat tersebut dapat berbentuk senyawa organik, anorganik atau terikat dalam suatu senyawa logam yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya. Unsur kimia yang termasuk kedalam logam berat antara lain : Hg, Pb, Cd, Cu, Sb, V, Mn, Ni, Cr, Mo dan lain-lain (Bryan,1976).

Logam-logam berat memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Pada konsentrasi tinggi, logam berat bersifat toksik karena sulit didegradasi
2. Mudah terakumulasi dalam sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu, sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan massa air akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya di dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemaran potensial pada skala waktu tertentu.

Logam berat memiliki kriteria yang sama dengan golongan logam yang lain. Perbedaanya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan atau masuk kedalam tubuh organisme. Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan semua logam berat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Contohnya adalah air raksa atau merkuri (Hg), Cadmium(Cd), timbal (Pb) dan kromium (Cr). Logam – logam tersebut belum diketahui manfaatnya dalam tubuh sehingga bersifat racun. Namun, meski semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam-logam tersebut tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup meskipun dalam jumlah yang sangat sedikit dan

jika tidak terpenuhi dan berlebihan akan berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup organisme.

1. Timbal (Pb)

Timbal merupakan satu diantara logam berat yang paling sering ditemukan di lingkungan dan paling sering digunakan dalam berbagai kegiatan industri, misalnya sebagai zat tambahan bahan bakar, hasil dari pertambangan yang mengandung timbal dan pigmen timbal dalam cat yang menyebabkan utama peningkatan kadar Pb di lingkungan, (Lu, 1995).

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan nama timah hitam, dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Pb adalah logam lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat serta mudah dimurnikan dari pertambangan.



Gambar 2.1. Logam Timbal

<https://id.wikipedia.org/wiki/Timbal>

Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada Tabel Periodik unsur kimia. Mempunyai nomor atom 82 dengan bobot atau berat atom 207,2.

Logam Pb bersifat toksik terhadap manusia, yang berasal dari tindakan mengkonsumsi makanan, minuman atau melalui inhalasi dari udara, debu yang tercemar Pb, kontak lewat kulit, mata. Pb yang di absorbs oleh tubuh akan mengikat gugus aktif dari enzim ALAD (*Amino Levulinic Acid Dehidratase*), dimana enzim ini berfungsi pada sintesa sel darah merah. Adanya unsur Pb akan mengganggu kerja enzim ini sehingga sintesa sel darah merah menjadi terganggu. Pada jaringan atau organ tubuh, logam Pb akan terakumulasi pada tulang baik melalui udara maupun makanan ataupun minuman, karena logam ini dalam bentuk ion Pb^{2+}

mampu menggantikan keberadaan ion Ca^{2+} (kalsium) yang terdapat pada jaringan tulang. Tulang berfungsi sebagai tempat pengumpulan Pb karena sifat-sifat ionnya hampir sama dengan Ca^{2+} (Fardiaz,1992).

Selain itu, timbal dapat menyebabkan keracunan kronis dan akut. Keracunan Pb kronis ditandai dengan depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu dan sulit tidur. Secara umum daya racun timbal yang akut pada manusia menyebabkan kerusakan hebat pada ginjal, system reproduksi, hati, kelainan fungsi otak, anemia berat, bahkan dapat terjadi kematian dalam waktu 1-2 hari (Saparinto dan Hidayati,2006).

Timbal bersifat kumulatif. Mekanisme toksisitas Pb berdasarkan organ yang dipengaruhi adalah :

- a. Sistem haemopoetik, yaitu logam Pb menghambat system pembentukan hemoglobin sehingga menyebabkan anemia.
- b. System saraf, yaitu logam Pb bisa menyebabkan kerusakan otak dengan gejala epilepsy, halusinasi,kerusakan otak besar dan delirium.
- c. Sistem reproduksi, yaitu berpengaruh terutama terhadap gametotoksitas atau janin belum lahir menjadi peka terhadapPb. Ibu hamil yang terkontaminasi Pb bisa mengalami keguguran, tidak berkembangnya sel otak embrio, kematian janin waktu lahir, serta hipospermia dan teratospermia pada pria.

2. Logam Nikel

Nikel adalah unsur kimia metalik dalam table periodik yang memiliki simbol dan nomor atom 28. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Logam nikel berwarna perak dalam bentuk berbagai mineral.



Gambar 2.2. Logam Nikel

<https://wordpress.com/gambar-logam-transisi-definisi/nikel-2/>

Senyawa nikel terjadi dalam lingkungan pada tingkat yang rendah. Berbagai bahan pangan secara alami mengandung sejumlah kecil nikel. Cokelat dan lemak diketahui mengandung jumlah tinggi nikel. Asupan nikel akan meningkat pada orang yang makan sayuran dari tanah yang tercemar limbah nikel. Tanaman dikenal mengakumulasi nikel sehingga saat dikonsumsi akan turut dipindahkan ke dalam tubuh manusia.

Manusia dapat terpapar nikel melalui udara, air minum, makanan atau rokok. Kontak kulit dengan tanah atau air yang terkontaminasi juga dapat mengakibatkan paparan nikel. Dalam jumlah kecil, nikel merupakan unsur penting, tetapi ketika berada dalam konsentrasi terlalu tinggi akan membahayakan kesehatan manusia. Paparan nikel dalam jumlah besar akan memiliki konsekuensi sebagai berikut:

- Kemungkinan lebih tinggi mengalami kanker paru-paru, kanker hidung, kanker laring, dan kanker prostat
- Sakit kepala dan pusing setelah terpapar gas nikel
- Emboli paru
- Kegagalan pernapasan

Nikel dilepaskan ke udara oleh pembangkit listrik dan pembakar sampah yang kemudian mengendap di tanah atau terserap tanah setelah reaksi dengan air hujan. Nikel juga dapat berakhir di air permukaan saat menjadi bagian limbah sungai. Konsentrasi nikel yang tinggi pada tanah berpasir dapat merusak tanaman dan konsentrasi nikel yang tinggi di permukaan air dapat mengurangi tingkat pertumbuhan alga. Mikro organisme berpotensi mengalami penurunan pertumbuhan karena kehadiran nikel, meskipun mereka biasanya mampu

mengembangkan resistansi terhadap nikel setelah beberapa saat. Pada hewan, paparan nikel berlebih berpotensi menyebabkan berbagai jenis kanker

3. Logam Kromium

Kromium adalah logam berkilau, getas dan keras, serta berwarna perak abu-abu. Ketika dipanaskan, kromium membentuk oksida kromat hijau. Logam ini tidak stabil pada oksigen dan segera menghasilkan lapisan oksida tipis.. Penggunaan utama kromium adalah sebagai paduan logam seperti pada stainless steel, chrome plating, dan keramik logam. Chrome plating pernah digunakan untuk memberikan lapisan keperakan seperti cermin pada baja. Kromium digunakan dalam metalurgi sebagai anti korosi dan pemberi kesan mengkilap.

Selain itu, logam ini juga digunakan pada pewarna dan cat, untuk memproduksi batu rubi sintetis, dan sebagai katalis dalam pencelupan dan penyamakan kulit. Kromium (IV) oksida (CrO_2) digunakan untuk pembuatan pita magnetik.



Gambar 2.3. Logam Kromium

<https://id.wikipedia.org/wiki/Kromium>

Toksistas oral akut untuk kromium(VI) berkisar antara 50 dan 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Di dalam tubuh, kromium(VI) direduksi melalui beberapa mekanisme menjadi kromium(III) yang sudah ada dalam darah sebelum memasuki sel. Kromium(III) diekskresikan dari dalam tubuh, sementara ion kromat ditransfer ke dalam sel melalui mekanisme transport, bersamaan dengan masuknya ion sulfat dan fosfat ke dalam sel. Toksistas akut kromium(VI) karena sifat oksidator kuatnya. Setelah memasuki aliran darah maka akan menghancurkan ginjal, liver dan sel darah melalui reaksi oksidasi. Hasilnya adalah hemolisis, kegagalan ginjal dan liver. Dialisis agresif dapat dijadikan pengobatannya.

Garam kromium (kromat) juga penyebab reaksi alergi pada beberapa orang. Kromat sering digunakan untuk manufaktur, antara lain, produk kulit, cat, semen, mortar dan anti korosi. Kontak dengan produk yang mengandung kromat dapat menyebabkan alergi dermatitis kontak dan dermatitis iritasi. yang menghasilkan koreng pada kulit, kadang-kadang disebut sebagai "koreng krom". Kondisi ini sering dijumpai pada pekerja yang telah terpapar larutan kromat kuat pada penyepuhan elektrik, penyamakan, dan pabrik yang menghasilkan krom.

2.2. Teknologi Biosorpsi

Pengolahan secara biologi untuk mengurangi logam berat pada limbah tercemar diketahui sebagai teknologi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan dibandingkan dengan proses kimia. Karena perlindungan terhadap lingkungan saat ini telah menjadi masalah yang sangat penting, biosorpsi menjadi teknik yang menjanjikan dalam menghilangkan logam berat.

Biosorpsi merupakan teknologi pengolahan limbah terbaru yang dapat menyisihkan/menghilangkan logam-logam beracun dalam limbah cair, oleh karena itu biosorpsi dapat dipertimbangkan sebagai suatu teknologi alternatif untuk pengolahan limbah cair industri (Martins,dkk.,2006).

Proses biosorpsi dapat terjadi karena adanya material biologis yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung logam berat dengan afinitas yang tinggi sehingga mudah terikat dengan biosorben (Sinly dan Johan, 2007). Pengikatan logam berat yang berada dalam suatu larutan yaitu dengan cara pertukaran ion dimana ionion pada dinding sel mikroorganismе digantikan oleh ion-ion logam berat (Martias,dkk.,2006). Kompleksitas ion logam berat yang bermuatan positif berinteraksi dengan pusat aktif yang bermuatan negatif pada permukaan dinding sel atau dalam polimer ekstra seluler, seperti protein dan polisakarida sebagai sumber gugus fungsi berperan penting dalam mengikat ion logam berat.

Proses penyerapan ini berlangsung cepat dan terjadi pada sel hidup maupun sel yang telah mati. Penyerapan logam berat oleh mikroorganismе dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu proses penyerapan yang terjadi secara absorpsi (bioakumulasi) dan proses penyerapan yang terjadi secara adsorpsi (biosorpsi) (Volesky,2007).

Proses penyerapan yang terjadi secara absorpsi (bioakumulasi) disebut juga mekanisme resistensi. Mekanisme resistensi dapat dilakukan melalui pengekskresian/ perembesan senyawa pengkelat (chelator) ke luar sel, pengikatan ion logam oleh molekul intraseluler seperti metalotionen, atau akumulasi ion logam pada organ tertentu seperti vakuola dan mitokondria (Kapoor dan Viraraghavan, 1995).

Proses penyerapan secara biosorpsi yaitu proses penyerapan logam yang terjadi tidak tergantung pada metabolisme, terutama terjadi pada permukaan dinding sel melalui mekanisme kimia dan fisika, misalnya pertukaran ion, pembentukan kompleks (Gadd,1990).

Sebagian besar mekanisme penyisihan logam berat oleh mikroorganisme adalah proses pertukaran ion yang mirip pertukaran ion pada resin. Mekanisme ini dapat dibagi menjadi 2 cara, yakni:

1. Berdasarkan metabolisme sel

- Penyerapan yang tergantung pada metabolisme yaitu yang menyebabkan terakumulasinya logam di dalam sel. Proses ini hanya terjadi pada sel mikroorganism hidup, menyebabkan terakumulasinya logam didalam dan di bagian pinggir intraseluler sel. Proses ini berlangsung lambat dan secara kritis sangat tergantung pada nutrient dan kondisi lingkungan seperti pH larutan dan suhu (Gadd,1990)
- Penyerapan yang tidak tergantung pada metabolisme yaitu yang terjadi pada permukaan dinding sel dan tidak membutuhkan tambahan nutrient untuk proses penyerapan logam.

2. Berdasarkan cara pengambilan logam berat (pengangkapan pasif dan penangkapan aktif (Sinly dan Johan, 2007).

• Penangkapan Pasif (Passive Uptake)

Passive uptake dikenal dengan istilah biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion-ion logam menempel pada permukaan adsorben secara fisik dan kemudian ion logam berat terikat pada dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion dimana ion monovalent dan divalent seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion ion logam berat, dan kedua adalah pembentukan kompleks ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti carbonyl, amino,

thiol, hydroxy, phosphate, dan hydroxy – carboxyl yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak-balik dan cepat. Proses bolak-balik ikatan logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomassa. Proses biosorpsi dapat lebih efektif dengan kehadiran pH tertentu dan kehadiran ion-ion lainnya dimana logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak terlarut.

- **Penangkapan Aktif (Active Uptake)**

Penangkapan aktif dapat terjadi pada berbagai sel hidup. Mekanisme ini secara simultan ini terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau akumulasi intraseluler ion logam tersebut. Logam berat dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan ekskresi pada tingkat kedua. Proses ini tergantung pada energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap parameter parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ionik, dan cahaya. Disamping itu proses ini dapat dihambat oleh suhu yang rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat metabolisme sel. Disisi lain, biosorpsi logam berat dengan sel hidup ini terbatas dikarenakan oleh akumulasi ion yang menyebabkan racun terhadap mikroorganisme.

Konsep dasar aplikasi proses biosorpsi untuk pengolahan limbah dengan menggunakan mikroorganisme guna mengatasi permasalahan cemaran logam berat adalah sangat simpel. Mikroorganisme yang telah dipilih dimasukkan, ditumbuhkan kemudian dikontakkan dengan air yang tercemar logam berat dalam waktu tertentu agar biomassa berinteraksi dengan ion logam berat, selanjutnya biomassa ini dipisahkan dari cairan. Biomassa yang terikat dengan logam berat diregenerasi untuk digunakan kembali atau dibuang ke lingkungan.

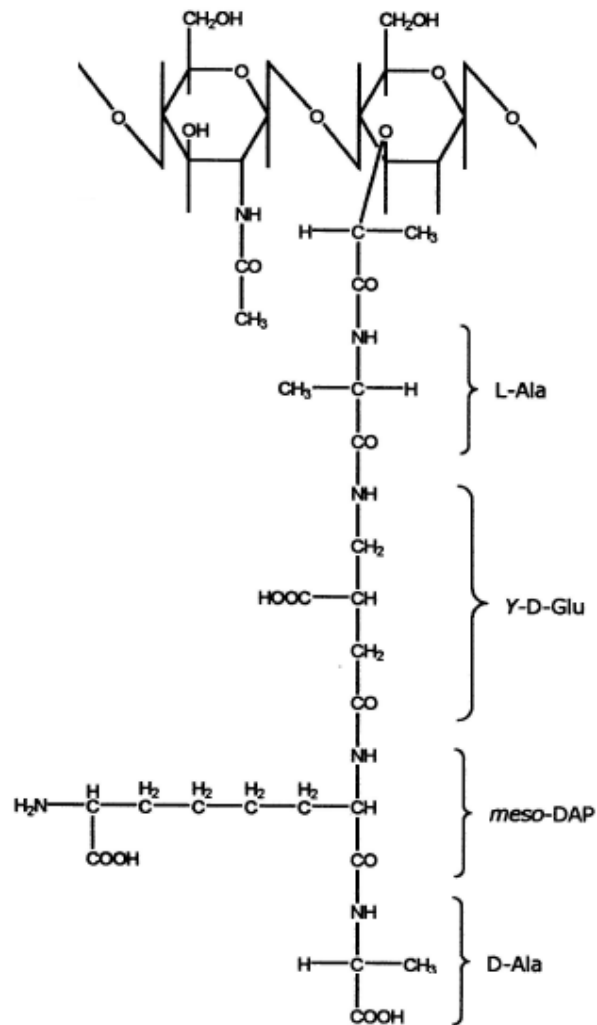
2.3. Struktur dan Mekanisme Penyerapan pada Bakteri

A. Struktur Bakteri

Dinding sel bakteri tersusun atas makromolekul peptidoglikan yang terdiri dari monomer – monomer tetrapeptidaglikan (polisakarida dan asam amino). Berdasarkan susunan kimia dinding selnya, bakteri dibedakan atas bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. Dinding sel bakteri gram positif hanya tersusun atas satu lapis peptidoglikan yang relatif tebal, sedangkan dinding sel bakteri gram negatif terdiri atas dua lapisan. Lapisan luar tersusun atas protein dan polisakarida,

lapisan dalamnya tersusun atas peptidoglikan yang lebih tipis dibanding lapisan peptidoglikan pada bakteri gram positif. Dinding sel bakteri berfungsi untuk memberi bentuk sel, memberi kekuatan, melindungi sel dan menyelenggarakan pertukaran zat antara sel dengan lingkungannya.

Peptidoglikan (murein) adalah polimer polisakarida yang mengandung rantai asam amino, tetapi rantai asam amino tidak sepanjang rantai asam amino pada protein sehingga disebut peptidoglikan bukan glikoprotein. Dinding sel ini terdiri dari kerangka struktural berikatan kovalen yang mengelilingi sel. Struktur ini tersusun dari rantai polisakarida panjang, paralel dan saling berhubungan terhadap sesamanya pada selang tertentu oleh rantai polipeptida pendek. Rantai polisakarida tersebut terdiri dari unit monosakarida terdiri dari asam-N-asetil glukosamin dan asam N-asetilmuramat yang dihubungkan ikatan β -1,4. Setiap unit asam N-asetilmuramat berlekatan dengan suatu rantai samping tetrapeptida. Rantai samping tetrapeptida tersebut terdiri dari alanin, D-asam glutamat, asam diaminopimeat dan D-alanin (Hoog S,2005).



Gambar 2.4. Struktur Peptidoglikan

((Barton dan Barton 2005)

Dari komponen peptidoglikan diatas yang merupakan polisakarida diketahui mengandung gugus seperti asam amino, gugus carboxyl, gugus hidroksil yang mampu mengikat logam.

Berdasarkan hasil penelitian telah diketahui bahwa yang berperan penting di dalam proses biosorpsi adalah gugus karboksil, hidroksil dan kelompok amino pada protein dan kitin/kitosan pada dinding sel (Brady dan Duncan, 1994).

Pada permukaan dinding sel terjadi interaksi ionik antara kation logam dengan gugus fungsi makromolekul. Kekuatan interaksi tergantung pada jari-jari ion, muatan ion logam, derajat ionisasi anion, pH dan persaingan dari muatan positif

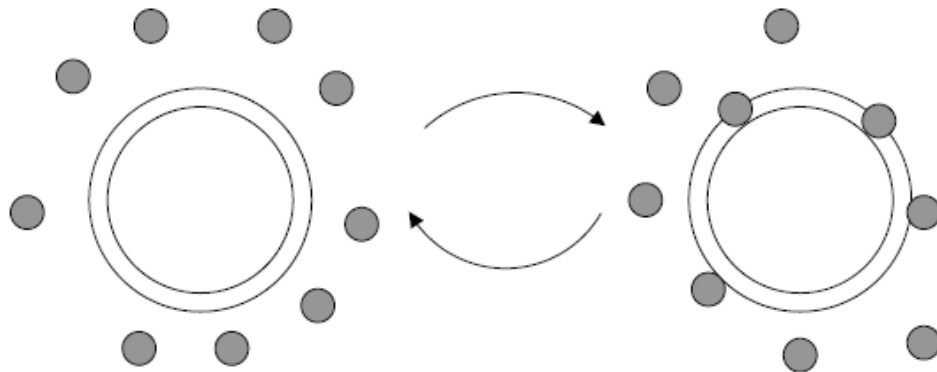
tertentu dengan polimer. Interaksi ini terjadi pada gugus fungsi yang bermuatan parsial negatif seperti gugus karboksil (Zimmermann dan Wolf, 2002).

Protein mengandung banyak gugus ionik dan gugus polar lainnya, maka interaksi dengan kation-kation logam menjadi sangat kuat dan tidak spesifik. Beberapa protein permukaan sel atau protein yang merembes dari membran atau sitoplasma sel-sel mati dapat mengikat kation dengan cara ini. Gugus -SH yang terdapat dalam metallothionin membentuk kompleks lebih kuat dan spesifik dengan beberapa logam toksik (Zimmermann dan Wolf, 2002).

B. Mekanisme Biosorpsi Pada Bakteri

Biosorpsi didefinisikan kemampuan bahan biologis untuk mengikat logam pada permukaan dinding sel dengan melalui pertukaran ion logam dan kelompok gugus fungsional yang ada pada permukaan dinding sel yang mati. Gugus fungsional ini memegang peran penting dalam biosorpsi karena komponen dari kelompok gugus fungsional yang ada pada dinding sel bakteri termasuk carboxyl, phosphonate, amina dan kelompok hidroksil (Doyle,dkk 1980)

Pada kelompok gugus fungsi tersebut memiliki muatan negatif seperti kelompok karboksil yang berlimpah yang berpartisipasi aktif dalam mengikat kation logam.



Gambar 2.5 Biosorpsi Pada Ion Logam

Pada proses biosorpsi terjadi mekanisme yang sangat kompleks yaitu pertukaran ion, adsorpsi fisik, permukaan kompleksisasi permukaan dan microprecipitasi permukaan. Beberapa penelitian melihat bahwa adsorpsi fisik merupakan mekanisme yang dominan pada proses biosorpsi. Namun penelitian terbaru menunjukkan bahwa mekanisme ini serupa dengan proses pertukaran ion

dengan kelompok fungsional seperti (amino, karboksil, fosfat, sulfat dan hidroksil) yang terpapar oleh dinding sel. Kelompok fungsional terdiri dari polisakarida, protein dan lipid. Sehingga dengan demikian dianggap sebagai penukar kation asam lemah. (Chojnacka,2010)

Proton pada dinding biomassa terlepas dan kation ion logam terikat pada permukaan cell. Oleh karena itu biomassa bertindak sebagai polyelektrolit organik. Dalam prosesnya, ion logam bersaing dengan proton pada situs-situs pengikatan. Sehingga pH merupakan parameter proses yang paling penting pada penyerapan logam. pH sangat mempengaruhi ketersediaan spesiasi dan penyerapan ion logam, pada pH yang tinggi, kelarutan kompleks ion logam menurun sehingga membuat ion logam sukar untuk di serap. Selama proses penyerapan ion logam oleh bakteri, pada pH 3-6 ditemukan sangat menguntungkan untuk proses biosorpsi karena gugus karboksil merupakan kelompok bermuatan negatif yang bertanggung jawab untuk mengikat kation logam melalui mekanisme pertukaran ion. Selain itu parameter yang penting yaitu konsentrasi ion logam, biomassa, kontak waktu.

Proses biosorpsi merupakan proses yang sangat cepat. Keseimbangan biasanya dicapai dalam beberapa menit. karena tingkat proses tinggi, dalam beberapa kasus bahkan sulit untuk memilih dan menyesuaikan persamaan yang digunakan dan untuk menentukan urutan reaksi karena kecepatan dalam sampling. Proses umumnya dideksripsikan menggunakan kinetika pseudo first orde dan pseudo second orde. Reaksi orde ini berkaitan dengan mekanisme penyerapan.

2.4. Jenis Bakteri

- *Bacillus cereus*



Gambar 2.6. Bakteri *Bacillus cereus*

Menurut Buchanan dan Gibbons (1974) dalam Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, *Bacillus cereus* termasuk genera *Bacillus*, organisme

bersel tunggal, berbentuk batang pendek biasanya dalam bentuk rantai panjang. Umumnya mempunyai ukuran lebar 1,0 μm dan panjang 3 μm – 5 μm , Gram positif, aerob, suhu pertumbuhan maksimum 37 – 48 °C dan minimum 5-20 °C dan pH pertumbuhan 5,5 – 8,5. *B. cereus* bersifat kosmopolit, suhu pertumbuhan optimum 30 °C. *B. cereus* merupakan saprofit ringan yang tidak berbahaya yang lazim terdapat dalam tanah, air, udara, dan tumbuh-tumbuhan serta mampu membentuk endospora yang tahan panas (Salle, 1974).

Mikroorganisme termasuk bakteri mempunyai mekanisme resistensi terhadap logam berat. *Bacillus sp.* adalah salah satunya. *Bacillus sp.* adalah bakteri yang melimpah di alam, dapat diisolasi dari udara, tanah, air tawar atau asin, baik di lingkungan normal ataupun ekstrim, termasuk lingkungan yang tercemar logam berat. Generasi *Bacillus* memiliki beberapa manfaat diantaranya untuk produksi enzim, antibiotic, pelarut, insektisida alami pada tanaman. Sebaliknya, ada juga *Bacillus* yang bersifat pathogen bagi manusia dan hewan yaitu *Bacillus anthracis*. Kemampuan *Bacillus* yang beragam salah satunya resisten terhadap logam berat dapat dikembangkan lebih lanjut untuk tujuan bioremediasi. (Arinda,2012).

Struktur selnya terdiri dari membran dalam dan peptidoglikan tebal yang berfungsi untuk mempertahankan bentuk. Bagian polisakarida membentuk 50 % persen dari dinding sel dan terdiri dari polisakarida netral terdiri dari N-asetilglukosamin, N-acetylmannosamine (ManNac), N-asetilgalaktosamin dan glukosa. Bagian asam dari dinding sel unit tetrasaccharide.5% dari dinding sel terdiri dari asam techoic dari N-asetilglukosamin,galaktosa,gliserol dan fosfor,peptidoglikan. Selain itu *B.cereus* memiliki glikoprotein S-lapisan peptidoglikan yang terdiri dari paracrystalline protein dan menutupi permukaan sel.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Ren.G 2014, identifikasi grup fungsional yang terdapat pada permukaan biomassa *Bacillus cereus* dengan menggunakan FT-IR untuk mengetahui grup yang berperan dalam mekanisme pengikatan logam. Hasil analisa spektrum FT-IR keseluruhan bahwa kelompok-kelompok fungsional seperti hidroksil, karbonil, dan karboksil sangat berperan dalam adsorpsi logam yang berinteraksi dengan kation-kation logam. Grup fungsional tersebut berdasarkan komponen-komponen yang membentuk dinding sel *Bacillus cereus*.

Pseudomonas putida



Gambar 2.7. Bakteri *Pseudomonas putida*

Pseudomonas putida adalah bakteri berbentuk batang, memiliki flagel, gram negatif yang ditemukan di sebagian besar habitat tanah dan air di mana ada oksigen. Tumbuh optimal pada 25-30 C dan dapat dengan mudah diisolasi. Komponen utama yang menyusun pada dinding cell bakteri yaitu terutama lapisan lipopolisakarida.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa *Pseudomonas putida* mampu menyerap beberapa ion logam dengan memanfaatkan dinding cell dan metabolisme pada bakteri. Uslu,dkk 2005 melaporkan bahwa *Pseudomonas putida* mampu menyerap ion logam Pb dan Cu dengan memanfaatkan komponen pada dinding cellnya. Pabst, 2010 melaporkan bahwa *Pseudomonas putida* mampu meremoval ion Cu dan Cd. Pardo,2003 melakukan penelitian dengan menggunakan *Pseudomonas putida* pasif untuk menyerap ion logam Pb,Cu,Cd dan Zn.

2.5. Imobilisasi

Dalam mengikat logam berat secara langsung, biomassa khususnya bakteri dan jamur memiliki keterbatasan karena ukurannya yang sangat kecil, berat jenis yang relatif rendah serta mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganism lain. Untuk mengatasi kendala tersebut, maka perlu dilakukan imobilisasi pada biomasanya.

Ada beberapa aplikasi yang tersedia untuk imobilisasi biomassa. Teknik – teknik utama yang tersedia pada literatur adalah berdasarkan pada adsorpsi pada zat pendukung yang inert serta menggunakan matriks pendukung.

- a. Adsorpsi pada zat pendukung yang inert.

Zat pendukung dimasukkan sebelum proses sterilisasi dan inokulasi dengan starter dan dibiarkan didalam untuk pembiakan selanjutnya sampai terbentuk lapisan dari mikroorganisme yang terlihat jelas pada permukaan zat pendukung. Contohnya, karbon aktif yang digunakan sebagai zat pendukung untuk biofilm *Enterobacter aerogens*.

b. Menggunakan matriks pendukung

Syarat suatu bahan menjadi matriks pendukung antara lain :

1. Memiliki sisi aktif terutama mengandung gugus aktif yang reaktif
2. Mempunyai permukaan yang luas
3. Memiliki kapasitas pengikatan yang tinggi
4. Mempunyai daya tahan yang baik terhadap perubahan-perubahan pelarut kimia

Penggunaan matriks pendukung ini dibagi menjadi 3 bagian :

1. Melalui perangkap dalam matriks polimerik. Polimer yang biasa digunakan adalah kalsium alginat, poliakrilamid, polisulfon dan polietilenimin.
2. Melalui ikatan kovalen dengan senyawa vektor. Senyawa vektor yang umum digunakan adalah silika gel
3. Melalui pengikatan silang. Penambahan zat yang dapat menyebabkan terbentuknya ikatan silang penambahan zat dapat menyebabkan agregat yang stabil. Zat yang umum digunakan adalah formaldehid, glutaraldehyd, divinilsulfon dan campuran formaldehid-urea.

2.6. Alginate

Alginate adalah polimer linier organik polisakarida yang terdiri dari monomer α -L asam guluronat (G) dan β -D asam manuronat (M), atau dapat berupa kombinasi dari kedua monomer tersebut. Alginate dapat diperoleh dari ganggang coklat yang berasal dari genus *Ascophyllum*, *Ecklonia*, *Durvillaea*, *Laminaria*, *Lessonia*, *Macrocystis*, *Sargassum*, dan *Turbinaria* (Roew, 2009).

Struktur dasar dari monomer alginate adalah cincin tetrahidopyran dan dapat membentuk 2 konfigurasi, yaitu C1 dan 1C seperti gambar di atas. β -D-manuronat di alam terdapat dalam konfigurasi C1. Pada konfigurasi 1C α -D-manuronat, interaksi -COOH pada C-5 dan -OH pada C-3 akan kaku, sedangkan pada C1 gugus-gugus ini berada pada posisi ekuatorial sehingga lebih stabil. Sebaliknya,

untuk alasan yang sama, α -L-guluronat terdapat dalam konfigurasi 1C dibandingkan C1.

Polimer alginat dibentuk dari hubungan antara C-1 dan C-4 tiap monomer dan dihubungkan oleh ikatan eter oksigen. Polimer alginat terdiri dari 3 jenis, yaitu polimer M (manuronat), polimer G (guluronat), dan polimer MG. Polimer M dibentuk dari struktur ekuatorial gugus C-1 dan C-4 dan membentuk polimer lurus, sedangkan polimer G dibentuk dari struktur aksial. Perbedaan struktur polimer ini menyebabkan polimer G lebih banyak digunakan untuk proses pembentukan gel alginat dengan penambahan ion Ca^{2+} . Ion tersebut akan menggantikan ion H^+ pada gugus karboksilat dan membentuk jembatan ion penghubung antara polimer G yang satu dengan yang lainnya. Hubungan antar polimer G ini akan membentuk struktur egg-box (fao,2009).

Teknologi imobilisasi menggunakan media Ca-alginat dipilih karena berasal dari alga coklat yang merupakan bahan dasar alginat yang banyak dibudidayakan di Indonesia (Widjaja,2008). Di samping itu, Ca-alginat telah banyak digunakan dalam beberapa penelitian, seperti adsorpsi logam Cu dan Ni oleh biomassa *Chryseomonas luteola* (Guven,dkk.,2005), adsorpsi logam Cu,Cd dan Pb oleh biomassa *Laminaria digitata* (Sergios,dkk.,2006), adsorpsi logam Pb oleh biomassa *Bacillus cereus* (Paul,dkk.,2006), adsorpsi logam Cr(VI) oleh biomassa *cyanobacterium* (Bala,dkk.,2007). Imobilisasi sel/biomassa dalam struktur solid dapat menghasilkan material biosorben dengan ukuran yang tepat, kekuatan mekanis dan porositas yang diperlukan untuk penggunaannya dalam proses pengolahan. Faktor-faktor yang mempengaruhi biosorpsi antara lain adalah pH larutan, jumlah biosorben, konsentrasi awal dan waktu (Vijayaraghavan,dkk.,2008).

2.7. Isothermis Adsorpsi

Teori adsorpsi menjelaskan pengikatan atau penggabungan molekul terlarut pada permukaan adsorben oleh gaya elektrik lemah yang dikenal dengan ikatan van der Waals. Adsorpsi akan terkonsentrasi pada sisi permukaan yang memiliki energi yang lebih tinggi. Aktivasi adsorben akan menaikkan energi pada permukaannya, sehingga dapat meningkatkan tarikan terhadap molekul terlarut. Koefisien adsorben menjadi nilai yang penting dalam proses penghilangan kontaminan dalam air.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain sifat fisik dan kimia adsorben misalnya luas permukaan, ukuran partikel, sifat fisik dan kimia

adsorbent dalam fasa cairan. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan padatan per satuan volume tertentu sehingga akan semakin banyak zat yang teradsorpsi (Atkins,1999).

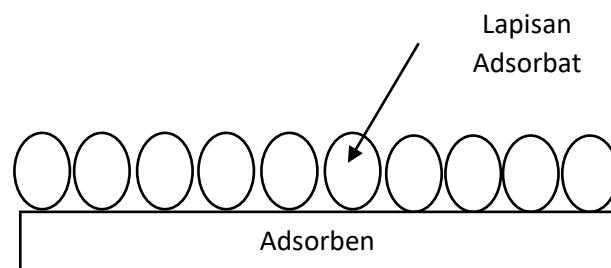
Kapasitas adsorpsi suatu adsorben untuk sebuah kontaminan dapat ditentukan dengan menghitung isoterm adsorpsi. Umumnya pemodelan adsorpsi menggunakan isoterm yang menggunakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap per satuan berat adsorben terhadap konsentrasi larutan. Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat dalam fluida dan dalam permukaan adsorben pada suhu yang tetap. Kesetimbangan terjadi saat laju pengikatan adsorben terhadap adsorbat sama (Albert,1992)

Ada dua isoterm adsorpsi yang umumnya digunakan yaitu isotermal Freundlich dan Langmuir. Kedua isoterm tersebut digunakan untuk gas atau larutan dengan konsentrasi rendah.

A. Isotermal Adsorpsi Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isothermal adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama
4. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan.



Gambar 2.8. Pendekatan isotherm adsorpsiLangmuir

Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan penyerapan terdapat sejumlah tertentu sisi aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada sisi aktif hanya satu molekul yang dapat diserap. Ikatan antara zat yang terserap dengan penyerapan dapat terjadi secara fisika atau secara kimia (Oscik,1982). Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul yang telah terserap sepanjang permukaan penyerap. Interaksi antara molekul-molekul yang terserap dalam lapisan hasil serapan diabaikan (Atkins,1999). Untuk mengetahui kekuatan adsorpsinya dilihat dari nilai Eads. Eads didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol ion logam teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalensi dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs standar.

Pada kesetimbangan, laju adsorpsi dan desorpsi gas adalah sama. Bila θ menyatakan fraksi yang ditempati oleh adsorbat dan P menyatakan tekanan gas yang teradsorpsi, maka

$$k_1\theta = k_2P(1 - \theta) \quad (1)$$

dengan k_1 dan k_2 masing-masing merupakan tetapan laju adsorpsi dan desorpsi.

Jika didefinisikan $a = \frac{k_1}{k_2}$, maka :

$$\theta = \frac{P}{(a+P)} \quad (2)$$

Pada adsorpsi *monolayer*, jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan P (y) dan jumlah gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer* dihubungkan dengan θ melalui persamaan :

$$\theta = \frac{y}{y_m} \quad (3)$$

$$y = \frac{y_m P}{a+P} \quad (4)$$

Persamaan diatas dapat dinyatakan dengan suatu persamaan berikut untuk mengindikasikan adsorpsi antara solid-liquid :

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (5)$$

Dari persamaan diatas dapat dilinierkan menjadi :

$$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{q_{\max} K_L} \right) + \frac{1}{q_{\max}} C_e \quad (6)$$

- q_e = jumlah ion logam yang terserap per satuan berat biomassa, mg/g
 C_e = konsentrasi keseimbangan ion logam dalam larutan, mg/l
 q_{max} = kapasitas serap maksimum bahan penyerap, mg/g
 K_L = konstanta keseimbangan biosorpsi.
 C_i = Konsentrasi awal larutan, mg/l

Dari persamaan diatas dapat dilakukan dengan membuat grafik garis lurus antara C_e/q_e vs C_e . Sehingga didapatkan slope $1/q_{max}$ dan intersep $1/q_{max}K_L$. Selanjutnya nilai q_{maks} dan K_L dapat ditentukan. Konstanta q_{maks} merupakan kapasitas adsorpsi maksimum berguna untuk mengetahui kemampuan adsorben menyerap bila biosorben tidak mampu menyerap ion-ion logam dan K_L menunjukkan energi ikat antara adsorben dan adsorbat untuk mengetahui kemampuan daya ikatnya adsorben jika semakin besar nilainya maka semakin kuat ikatannya.

Karakteristik penting pada Langmuir isotherm dapat dibuktikan dengan parameter konstanta keseimbangan (R_L) pada persamaan berikut :

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_i} \quad (7)$$

Dari nilai perhitungan R_L berguna untuk menentukan sifat dari proses adsorpsi, jika $R_L > 1$ maka sifat dari proses tersebut *unfavorable*, jika $R_L = 1$ maka prosesnya *linier*, dan jika $0 < R_L < 1$ maka prosesnya *favorable* (Rachamalla,2016).

B. Isotermal Adsorpsi Freundlich

Persamaan ini merupakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang terserap dengan konsentrasi zat dalam larutan. Persamaan ini mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi secara multilayer dan permukaan adsorben heterogen. Persamaan yang digunakan untuk pendekatan model dalam proses biosorpsi secara isothermis dengan menggunakan rumus berikut :

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (8)$$

Dimana :

- q_e = jumlah ion logam yang terserap per satuan berat biomassa, mg/g
 C_e = konsentrasi keseimbangan ion logam dalam larutan, mg/l
 K_f = Konstanta Freundlich (mg/g)(L/mg)^{1/n}

n = Konstanta empiris

Persamaan diatas berbentuk parabola namun dapat dibuat linier dengan cara mengubahnya menjadi bentuk logaritma. Sehingga menjadi persamaan berikut :

$$\ln q_{eq} = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (9)$$

Dari persamaan linier di atas selanjutnya dapat dibuat persamaan garis lurus sehingga dapat diketahui nilai konstanta Freundlich K_f dan n . Dari plot grafik $\ln q_e$ vs $\ln C_e$ maka diperoleh slopo $1/n$ dan intersep $\log K_f$. Konstanta K_f dan n persamaan Freundlich merupakan indikator kapasitas dan intensitas adsorpsi. Nilai K_f menunjukkan kemudahan adsorbat diikat oleh adsorben, semakin besar nilainya maka semakin mudah untuk adsorben menyerap adsorbat. Sedangkan nilai n berguna untuk mengindikasikan afinitas kemampuan adsorpsi, umumnya dinyatakan jika nilai n yang diperoleh 2-10 maka kemampuan biosorben untuk menyerap adsorbat baik, jika n antara 1-2 kemampuan untuk menyerap sulit dan jika nilai $n < 1$ maka kemampuan menyerap sangat sulit (R.M Ali.,dkk, 2016).

2.8. Model Kinetika pada biosorption dalam batch system

Untuk setiap aplikasi praktis, proses desain, operasi kontrol dan kinetika adsorpsi sangat penting karena kinetika adsorpsi menjelaskan penyerapan zat terlarut.

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam adsorben, sehingga untuk bisa teradsorpsi, logam dalam cairan mengalami proses-proses seri sebagai berikut :

1. Perpindahan massa logam dari cairan ke permukaan adsorben
2. Difusi dari permukaan adsorben ke dalam adsorben melalui pori
3. Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben
4. Adsorpsi logam pada dinding pori adsorben Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben umumnya berlangsung sangat cepat sehingga proses ini tidak mengontrol kecepatan adsorpsi secara keseluruhan.

Lebih dari 25 model telah dilaporkan dalam literatur, untuk menggambarkan kuantitatif kinetika selama proses adsorpsi. Setiap model kinetik adsorpsi memiliki keterbatasan sendiri berdasarkan asumsi-asumsi yang digunakan. Model kinetika biosorpsi yang umum digunakan yaitu model kinetika pseudo-first order dan model kinetika pseudo-second order.

A. Model kinetika Pseudo-First Orde

Model kinetika *pseudo first order* diturunkan berdasarkan persamaan laju reaksi Lagergren. Pada 1898, Lagergren pertama kali memperkenalkan persamaan untuk adsorpsi cair-padat berdasarkan kapasitas padatan. Persamaan Lagergren adalah salah satu persamaan yang paling banyak digunakan untuk adsorpsi terlarut dari larutan cair. Persamaan dapat diwakilkan sebagai berikut :

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_{eq} - q_t) \quad (10)$$

Dari persamaan diatas, diintegrasikan pada kondisi batas $t=0$, $t_0 = t$ dan $q_t = 0$ sampai $q_t = t$, menghasilkan persamaan :

$$\ln\left(\frac{q_{eq}}{q_{eq}-q_t}\right) = k_1 t \quad (11)$$

$$2,303 \log \frac{q_{eq}}{q_{eq}-q_t} = K_1 t \quad (12)$$

$$\log \frac{q_{eq}}{q_{eq}-q_t} = \frac{K_1}{2,303} \quad (13)$$

$$\log q_{eq} - \log(q_{eq} - q_t) = \frac{K_1 t}{2,303} \quad (14)$$

$$\log(q_{eq}-q_t) = \log q_{eq} - \frac{K_1 t}{2,303} \quad (15)$$

q_{eq} = jumlah ion logam yang terserap per satuan berat biomassa pada kondisi equilibrium, mg/g

q_t = jumlah ion logam yang terserap per satuan berat biomassa pada setiap waktu, mg/g

K_1 = Konstanta rate *pseudo first order* (1/s)

Dari persamaan (13) jika di plot membentuk garis lurus antara $\log (q_e - q_t)$ vs t , maka slope yang terbentuk adalah nilai K_1 dan intercept diperoleh nilai q_e (perhitungan).

B. Model kinetika Pseudo-Second Orde

Model kinetika *pseudo second order* tergantung pada kemampuan mengadsorpsi masing-masing fase padat. Beberapa asumsi yang digunakan untuk model kinetika ini:

1. Terbentuk monolayer adsorbate pada permukaan Adsorben.
2. Energi adsorpsi untuk setiap adsorben adalah yang sama dan independen dari cakupan permukaan.

3. Adsorpsi terjadi hanya di situs lokal dan tidak melibatkan interaksi antara polutan.

(Ho dan McKay,1999)

Persamaan kinetik tingkat dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dq_1}{dt} = k_2(q_{eq} - q_t)^2 \quad (16)$$

$$\frac{dq_1}{(q_{eq}-q_t)^2} = k_2 dt \quad (17)$$

Diintegrasikan dengan kondisi batas $t=0$, $t_0=t$ dan $q_t=0$ sampai $q_t=t$, menjadi

$$\frac{1}{q_{eq}-q_t} = \frac{1}{q_{eq}} + k_2 t \quad (18)$$

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 q_{eq}^2} + \frac{t}{q_{eq}}} \quad (19)$$

Maka, jika dilinierkan diperoleh persamaan :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{eq}^2} + \frac{t}{q_{eq}} \quad (20)$$

Dari persamaan (16) jika di plot t/q_t vs t , maka dari slope yang terbentuk akan diperoleh nilai q_e (perhitungan) dan intercept diperoleh nilai K_2 .

2.9. Desorpsi

Desorpsi merupakan kebalikan dari proses adsorpsi. Desorpsi adalah proses pelepasan kembali adsorbat (spesi-spesi logam yang telah berikatan dengan sisi aktif permukaan mikroorganisme) dari adsorben ke dalam suatu larutan. Untuk kepentingan dunia industri, beberapa parameter yang menentukan efektif atau tidaknya suatu proses biosorpsi sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah logam berat antara lain adalah kapasitas serapan maksimum dari biosorben, efisiensi dan selektifitas serta tingkat kemudahan pengambilan kembali logam (recovery) dari biosorben. Teknik recovery logam berdasarkan rusak dan tidaknya suatu biosorben dibedakan menjadi dua:

1. Teknik recovery yang non destruktif yaitu teknik recovery yang tidak menimbulkan kerusakan pada sel biosorben dengan harapan biomassa yang telah lepas dari logam serapannya dapat digunakan kembali untuk mengikat logam.

2. Teknik recovery yang destruktif, merupakan teknik recovery yang merusak sel-sel biosorben yang didesorpsi. Jadi biomassa yang telah bebas dari ion logam serapannya tidak dapat digunakan untuk menyerap ion logam yang baru. Misalnya desorpsi dengan cara pembakaran, pelarutan dengan asam atau basa kuat yang pekat.

Proses biosorpsi yang tidak tergantung pada metabolisme umumnya bersifat reversibel dan dapat didesorpsi dengan metode non destruktif menggunakan prinsip yang mirip dengan proses pertukaran ion. Metode ini lebih menguntungkan karena lebih efektif dan ekonomis. Untuk tujuan ini diperlukan agen pendesorpsi yang mampu menyerap logam dan meregenerasi material biosorben. Agen pendesorpsi ini harus:

- a. Dapat mengambil logam dari biosorben.
- b. Tidak menyebabkan kerusakan atau perubahan fisik pada biosorben.

Regenerasi biosorben dapat dilakukan dengan mencuci biosorben dengan larutan yang sesuai, jenis dan kekuatan larutan bergantung pada pengikatan atau pengendapan logam. Larutan asam mineral encer dapat digunakan untuk mendesorpsi logam dari biosorben. Sedangkan proses biosorpsi yang tergantung pada metabolisme umumnya bersifat irreversibel dan dapat didesorpsi dengan metode destruktif (Ilana Aldor, 2000).

Desorpsi logam dari biosorben umumnya dilakukan dengan teknik yang mirip dengan proses pemisahan ion secara kromatografi kolom, dalam hal ini menggunakan metode penukar ion.

Pada dasarnya adsorpsi dan desorpsi merupakan proses kesetimbangan. Desorpsi ion logam oleh asam mineral melibatkan reaksi pertukaran ion antara ion H^+ dari asam mineral dengan ion logam yang terikat pada gugus fungsi adsorben.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

2.10. Penelitian Tedahulu

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

No	Nama jurnal/ judul/ Penulis	proses	Hasil
1	International Journal of Scientific Engineering and Science Volume 1, Issue 12, pp. 85-90, 2018. Judul : Biosorption of Pb (II) Ions from Aqueous Solution Using Dry and Immobilized Biomass of <i>Rhizopus arrhizus</i>	Biosorpsi Pb(II) ion oleh sel-sel kering dan diimobilisasi <i>Rhizopus arrhizus</i> dalam larutan. Pengaruh kontak waktu (0-42 h), pH (2-8), awal konsentrasi (50-1500 mg/L) ion Pb(II) pada biosorption ini diteliti sistem batch.	Dari hasil yang diperoleh. 1. Penyerapan logam selama 48 jam tidak ada perubahan yang signifikan. Penyerapan logam biomassa kering 489 mg/L dan 496 mg/L pada imobilisasi <i>Rhizopus arrhizus</i> . Pada pH optimum Kapasitas penyerapan semakin meningkat dengan dinaikannya konsentrasi awal logam. <i>Rhizopus arrhizus</i> dengan imobilisasi menghasilkan hasil yang lebih baik. 2. kinetika mengikuti pseudo second orde dan isotherm Freundlich.
2	Environmental Progress & Sustainable Energy Mechanistic Exploration of Ni (II) Removal by Immobilized Bacterial Biomass and Interactive Influence of Coexisting Surfactants	Proses dilakukan dalam batch sistem pada logam Ni(II). Imobilisasi <i>Bacillus cereus</i> diimobilisasi menggunakan alginat. Pengaruh pH dipelajari pada range pH 3-7,5.	Hasil pengaruh pH diperoleh pH optimum 6. Kinetika mengikuti pseudo second orde dan mekanisme difusi film digunakan dengan keberaddan surfaktan. Data equilibrium adsorpsi mengikuti Redlich Peterson dan model Langmuir-Freundlich.
3	International Journal of Recent Scientific Research Vol. 5, Issue, 7, pp.1286-1292, July, 2014 Biosorption Of Pb(II) Ions From Aqueous Solution Onto Free And Immobilized Cells Of <i>Bacillus Megaterium</i>	Biosorpsi ion Pb(II) dilakukan pada bakteri <i>Bacillus megaterium</i> yang diimobilisasi menggunakan alginat dan tidak diimobilisasi. Imobilisasi menggunakan 5% alginat Proses dilakukan dalam batch.	Dari hasil, kapasitas penyerapan dengan menggunakan imobilisasi cell bakteri lebih tinggi yaitu 200 mg/g Pada pH 6. Data equilibrium adsorpsi mengikuti model Langmuir dan kinetika penyerapannya mengikuti pseudo first order dan pseudo second order .
4	Advances in Environmental Biology, 5(7): 1656-1662, 2011 ISSN 1995-0756 Judul : Nickel Biosorption by Immobilized Biomass of <i>Bacillus Sp.</i> From Aqueous Solution	Proses dilakukan dalam batch sistem dengan menggunakan bakteri <i>Bacillus</i> sp yang diimobilisasi menggunakan (3% alginat dan 2% CaCl ₂). Proses dilakukan dengan pengaruh pH antara 3-9. Pengaruh konsentrasi biomassa 1,33-5,87 g/l) dan pengaruh waktu 0-400 menit.	1. Dari hasil yang diperoleh pada pH 6 mampu meremoval 90% ion Ni pada konsentrasi awal 0,4 mmol/L. 2. Dengan meningkatnya konsentrasi biomassa dapat meningkatkan penyerapan logam hingga 80%, pada konsentrasi 5 g/l tetapi pada 5,87 g/l terjadi penurunan yang disebabkan aglomerasi pada biomassa sehingga site untuk adsorpsi tidak tersedia.

5	<p>Pertanika J. Sci. & Technol. 16 (2): 213 - 223 (2008)</p> <p>Judul : Equilibrium and Kinetic Studies of Pb (II) Ions Biosorption by Immobilized Cells of <i>Pycnopus sanguineus</i></p>	<p>Proses dilakukan oleh imobilisasi <i>Pycnopus sanguineus</i> dari larutan dalam batch sistem. Pengaruh konsentrasi awal logam, pH, biomassa dan temperature pada rate biosorpsi dan kapasitas penyerapan.</p> <p>Imobilisasi menggunakan sodium alginat dengan campuran 1,5% w/v larutan alginate dan p <i>sanguineus</i> kedalam 2% w/v CaCl₂.</p>	<p>Dari hasil yang diperoleh, penyerapan ion Pb(II) meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal ion Pb(II), dengan Ph optimum 4 dan berat biomassa optimum pada 3 gram. Model isothermal mengikuti Langmuir, Kinetika penyerapan ion Pb(II) dideksripsikan dengan model pseudo second order.</p>
6	<p>International Journal Of Mineral Processing Int. J. Miner. Process. 81 (2006) 35–43</p> <p>Judul : Biosorption of mercury(II), cadmium(II) and lead(II) ions from aqueous system by microalgae <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> immobilized in alginate beads</p>	<p>Imobilisasi <i>C.reinhardtii</i> dengan penyerapan menggunakan alginat dan larutan 0,1 M CaCl₂. Melakukan Hal yang sama untuk alginate tanpa cell sebagai kontrol. Proses adsorpsi didalam batch sistem dengan melihat kondisi optimum pada pH, perbedaan konsentrasi awal dan menganalisa waktu mencapai kesetimbangan dari 0-120 menit.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dari hasil yang diperoleh pH berpengaruh pada kelarutan logam dan ionisasi pada kelompok fungsional yaitu (karboksilat, fosfat dan kelompok-kelompok amino) pada dinding sel. Kelompok karboksilat dan fosfat memberikan ikatan negatif yang memungkinkan untuk sel mikroba menjadi kuat mengikat kation pada ion logam. Penyerapan maximum pada ion logam pada range 5-6. 2. Alga yang diimobilisasi menggunakan alginat dapat meningkatkan kapasitas penyerapan dibandingkan dengan alginat saja
7	<p>Process Biochemistry 39 (2004) 1767–1773</p> <p>Judul : Biosorption of nickel on blank alginate beads, free and immobilized algal cells</p>	<p>Proses dilakukan dengan menggunakan alginate saja, imobilisasi alginate pada <i>C.vulgaris</i> hidup dan mati. Untuk cell mati dilakukan pemanasan 80°C pada water bath.</p> <p>Imobilisasi cell alga menggunakan alginate dan CaCl₂. Suspended alga dimasukan kedalam 2% alginate pada temperature 80°C. Kemudian ditetaskan dalam 2% CaCl₂ menggunakan peristaltic pump.</p> <p>Parameter yang dianalisa: pengaruh pH 1-5, pengaruh waktu (0-120 menit) dan pengaruh konsentrasi awal logam (20-200 ppm) yang dilakukan pada sistem batch.</p>	<p>Dari hasil yang diperoleh bahwa imobilisasi menggunakan alga mati dapat meningkatkan kapasitas penyerapan. Ph optimum diperoleh pH 5 mampu meremoval 60% ion logam pada waktu 90 menit. Kemudian pada konsentrasi ion logam, semakin tinggi konsentrasi ion logam dapat meningkatkan kapasitas penyerapan karena dapat memberikan kekuatan untuk perpindahan masa ion antara sorben dan fluid pada fase bulk. Selain itu meningkatkan jumlah tumbukan antara ion logam dan adsorbent.</p> <p>Model isothermal mengikuti Langmuir dan Freundlich sedangkan kinetika mengikuti pseudo second orde.</p>

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, FTI-ITS. Pendekatan umum yang akan diambil dalam penelitian ini akan menjadi evaluasi instinsik, kemampuan biosorbent dalam pengolahan air tercemar logam berat yang dilakukan secara aerobik. Penelitian ini secara eksperimental dilakukan untuk menghasilkan data biosorpsi dengan menggunakan immobilisasi *Bacillus Cereus*, dan *Pseodomonas putida* yang dilakukan secara batch. Penelitian yang dilaksanakan meliputi : Persiapan dan karakterisasi limbah sintesis, persiapan bakteri, persiapan imobilisasi, persiapan biosorben, proses biosorpsi, analisa konsentrasi masing-masing logam, analisa biosorben yaitu immobilisasi *Bacillus cereus*, dan *Pseodomonas putida*.

3.2. Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian

a. Kondisi Operasi

- Proses yang dilakukan adalah *batch process*
- Limbah yang digunakan limbah sintesis :
 - ✓ Larutan $Pb(NO_3)_2$
 - ✓ Larutan $NiCl_2 \cdot 6H_2O$
 - ✓ Larutan $K_2Cr_2O_7$
- Agitasi : 150 rpm
- Jenis biosorbent *Bacillus cereus* 10^5 - 10^8 sel/mL
Pseodomonas putida 10^5 - 10^8 sel/mL
- Immobilisasi menggunakan Sodium Alginat
- Temperatur Operasi = $30^{\circ}C$
- Volume reaktor = 150 mL
- Rasio logam campuran biner = 1:1
- Rasio logam campuran tersier = 1:1:1

b. Variable Penelitian

1. pH :3-8
2. Berat biosorben : 150-500 mg
3. Konsentrasi larutan : 25-200 mg/l
4. Waktu kontak : 5-240 menit
5. Logam campuran ($\text{Ni}^{2+} : \text{Pb}^{2+}$) ; ($\text{Ni}^{2+} : \text{Cr}^{6+}$) ; ($\text{Cr}^{6+} : \text{Pb}^{2+}$);($\text{Cr}^{6+} : \text{Ni}^{2+}$) ; ($\text{Pb}^{2+} : \text{Cr}^{6+}$);($\text{Pb}^{2+} : \text{Ni}^{2+}$) dilakukan pada pH, berat biosorben dan waktu terbaik.

3.3. Bahan dan Alat

A. Bahan

1. Bakteri *Bacillus cereus*
2. Bakteri *Pseudomonas putida*
3. Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
4. Larutan $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
5. Larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
6. Larutan NaOH 0.1 M
7. Larutan HCl 0.1 M
8. Media *Nutrient Broth*
9. Aquades
10. Glukosa
11. Yeast ekstrak
12. Sodium Alginate
13. Na_2EDTA
14. Indikator *murexide*
15. Indikator *Eriochrome black T*
16. Amilum
17. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
18. KI
19. NaCl
20. NH_4Cl
21. NH_3
22. $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

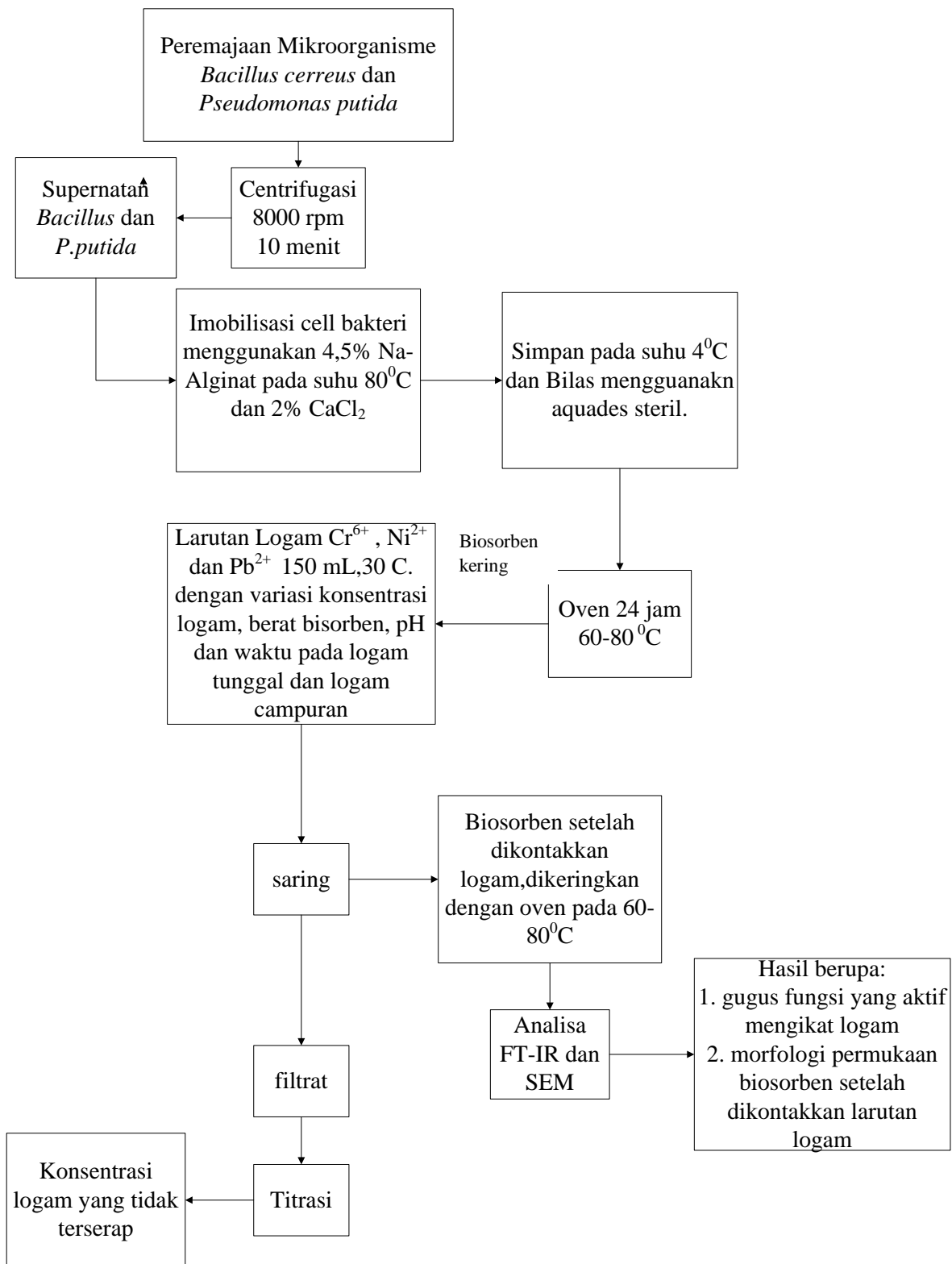
B. Alat

1. Erlenmeyer
2. *Autoclave*
3. *Incubator*
4. Oven
5. Beaker glass
6. Gelas ukur
7. Mikroskop
8. pH meter
9. Sentrifugasi
10. Tabung reaksi

11. Kawat ose
12. Rotary shake
13. Pipet volume
14. Pipet ukur
15. Neraca analitik
16. Biuret
17. Statif
18. Hot plate



Gambar 3.1. Skema Alat Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

A. Persiapan Limbah Sintetis

Persiapan limbah sintetis ini dengan membuat larutan induk dari masing-masing logam :

- Larutan induk Pb^{2+}

Membuat larutan Pb^{2+} 1000 ppm dari padatan $Pb(NO_3)_2$ sebanyak 0.13 g dilarutkan dalam 1 liter aquades.

- Larutan induk Ni^{2+}

Membuat larutan Ni^{2+} 1000 ppm dari padatan $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ sebanyak 0,2208 g dilarutkan dalam 1 liter aquades

- Larutan induk Cr^{6+}

Membuat larutan Cr^{6+} 1000 ppm dari padatan $K_2Cr_2O_7$ sebanyak 0.283 g dilarutkan dalam 1 liter aquades. Dengan demikian larutan dengan 0.283 g serbuk $K_2Cr_2O_7$ dalam 1000 mL memiliki konsentrasi 100 mg/L Cr^{6+}

Dari larutan induk ini, digunakan pada proses biosorpsi dengan melakukan pengenceran berdasarkan konsentrasi yang digunakan.

B. Preparasi Bakteri *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida*

- Melarutkan 1 liter aquades dengan 24g NB (*Nutrient Broth*), 1% glukosa dan 1% yeast ekstrak
- NB tersebut disaring kemudian disterilisasi dalam autoklaf selama 15 menit pada suhu $121^{\circ}C$, dan didinginkan sampai suhu $28^{\circ}C$
- Setelah dingin, pemindahan *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* dilakukan dari media induk ke media yang baru dengan menggunakan ose secara aseptik sebanyak 10 tempel. Kemudian media baru tersebut di inkubasi pada suhu $30^{\circ}C$ selama 24 jam.
- Setelah itu dipisahkan antara media dan bakteri dengan di sentrifugasi pada kecepatan 8000 rpm selama 15 menit.

C. Prosedur Imobilisasi biomassa dengan Alginat

Bacillus cereus dan *Pseudomonas putida* 1,5 gram (berat basah) dilarutkan dalam 25 ml aquades steril kemudian di campur dengan 50 ml larutan sodium alginate 4,5%

(w/v) hingga homogen. Campuran tersebut diteteskan dalam larutan CaCl_2 2% (w/v) untuk membentuk butiran-butiran (beads) . Kemudian setelah terbentuk, direndam selama 24 jam dalam larutan CaCl_2 untuk menguatkan butiran-butiran. Setelah itu dicuci menggunakan aquades sebanyak 3 kali dan dioven pada suhu 80°C .

D. Proses Biosorpsi

Pada proses ini dilakukan secara batch menggunakan reaktor erlenmeyer dengan volume larutan logam 150 mL. Pada proses awal yang dilakukan pada logam tunggal untuk mengetahui kondisi optimum. Setelah itu, melakukan pada larutan multi logam pada pada kondisi pH optimum dan waktu optimum.

1. Logam Tunggal

a. Pengaruh variasi pH.

- Membuat larutan logam Ni^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} masing-masing dengan konsentrasi 35 mg/l
- Larutan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 150 mL untuk setiap variasi pH 3,4,5,6,7,8. Pengaturan pH menggunakan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.
- Memasukkan biosorben dalam larutan masing-masing 150 mg/150 mL larutan sesuai dengan pH yang ditentukan selama 60 menit.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan kertas saring
- Menganalisa filtrat menggunakan titrasi.

b. Pengaruh variasi waktu kontak

- Membuat larutan logam Ni^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} masing-masing dengan konsentrasi 35 mg/l
- Larutan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 150 mL pada pH terbaik.
- Memasukkan biosorben masing-masing 150 mg/150 mL larutan.
- Mengkontakkan selama 5-240 menit.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan kertas saring.
- Menganalisa filtrat menggunakan titrasi.

c. Pengaruh variasi konsentrasi logam

- Membuat larutan logam Ni^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} masing-masing dengan konsentrasi 25-200 mg/l Larutan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 150 mL pada hasil pH terbaik.
- Memasukkan biosorben masing-masing 150 mg/150 mL larutan.
- Mengkontakkan biosorben dan larutan pada waktu terbaik yang dicapai pada percobaan sebelumnya.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan kertas saring.
- Menganalisa filtrat menggunakan titrasi.

d. Pengaruh variasi jumlah biosorben

- Membuat larutan logam Ni^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} masing-masing dengan konsentrasi sesuai dengan konsentrasi optimum yang diperoleh dari penelitian variasi konsentrasi.
- Larutan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 150 mL pada hasil pH terbaik.
- Memasukkan biosorben 150-500 mg/150 mL larutan ke dalam larutan logam.
- Mengkontakkan biosorben pada waktu terbaik yang dicapai pada percobaan sebelumnya.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan kertas saring.
- Menganalisa filtrat menggunakan titrasi.

2. Campuran Logam Biner

- Membuat larutan logam Ni^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} 50 mg/l setelah itu dicampurkan dengan logam yang lain dengan konsentrasi 25 mg/l, 50 mg/l dan 100 mg/l dengan rasio volume (1:1).
- Desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sistem biner, yaitu $\text{Ni}^{2+}:\text{Pb}^{2+}$; $\text{Ni}^{2+}:\text{Cr}^{6+}$; $\text{Pb}^{2+}:\text{Ni}^{2+}$; $\text{Pb}^{2+}:\text{Cr}^{6+}$ dan $\text{Cr}^{6+}:\text{Ni}^{2+}$; $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$.
- Larutan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 150 mL pada pH terbaik.
- Memasukkan biosorben sebanyak 500 mg/150 mL larutan.
- Mengkontakkan biosorben pada waktu terbaik yang dicapai pada percobaan sebelumnya.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan kertas saring.

- Menganalisa filtrat menggunakan AAS.

3. Campuran Logam Tersier

- Membuat larutan logam Ni^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} 50 mg/l setelah itu dicampurkan dengan logam yang lain dengan konsentrasi 50 mg/l dan 100 mg/l dengan rasio volume (1:1:1).
- Desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sistem biner, yaitu $\text{Ni}^{2+}:\text{Pb}^{2+}:\text{Cr}^{6+}$.
- Larutan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 150 mL pada pH terbaik.
- Memasukkan biosorben sebanyak 500 mg/150 mL larutan.
- Mengkontakkan biosorben pada waktu terbaik yang dicapai pada percobaan sebelumnya.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan kertas saring.
- Menganalisa filtrat menggunakan AAS.

4. Desorpsi

- Membuat larutan logam Ni^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} 50 mg/l.
- Larutan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 150 mL pada pH terbaik.
- Memasukkan biosorben sebanyak 500 mg /150 mL larutan.
- Mengkontakkan biosorben pada waktu terbaik yang dicapai pada percobaan sebelumnya.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan kertas saring.
- Menganalisa menggunakan titrasi.
- Biosorben yang telah digunakan, dikontakkan dengan larutan HCl 0,1M selama 1 jam, setelah itu disaring.
- Menganalisa kembali larutan HCl setelah dikontakkan biosorben.

3.5. Prosedur Analisa

1. Analisa Pengujian konsentrasi larutan logam

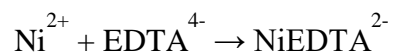
Larutan logam dianalisa dengan menggunakan 2 metode yaitu metode titrasi dan AAS. Metode titrasi yang digunakan yaitu titrasi kompleksimetri untuk ion logam Ni^{2+}

dan Pb^{2+} , kemudian titrasi iodometri untuk menentukan konsentrasi Cr^{6+} . Metode AAS digunakan pada logam biner.

- Analisa logam Ni^{2+}

Analisa logam Ni^{2+} menggunakan larutan EDTA 0,01 M, NH_4Cl 10%, NaCl 20 gram dicampur dengan 100 mg indikator murexide.

Prosedur titrasi yaitu, 25 ml larutan logam yang telah di pisahkan dengan biosorben dimasukkan kedalam erlenmeyer 100 ml, ditambahkan beberapa tetes ke dalam larutan 10% NH_4Cl hingga pH larutan menjadi 8 (larutan berwarna bening). Setelah itu tambahkan indikator yang digunakan (warna menjadi kuning). Titrasi perlahan dengan larutan EDTA 0,01 M secara perlahan hingga warna berubah menjadi warna ungu.muda. Reaksi yang terjadi selama titrasi :

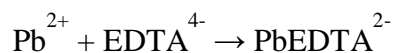


EDTA dan ion logam bereaksi dengan rasio (1:1).

- Analisa Logam Pb^{2+}

Analisa logam Ni^{2+} menggunakan larutan EDTA 0,01 M, NaCl 20 gram dicampur dengan 100 mg indikator Eriochrome Black T.

Prosedur titrasi yaitu, 25 ml larutan logam yang telah di pisahkan dengan biosorben dimasukkan kedalam erlenmeyer 100 ml, ditambahkan beberapa tetes ke dalam larutan NaOH 0,1 M hingga pH larutan menjadi 10 (larutan berwarna bening). Setelah itu tambahkan indikator yang digunakan (warna menjadi ungu terang). Titrasi perlahan dengan larutan EDTA 0,01 M secara perlahan hingga warna berubah menjadi warna biru terang. Reaksi yang terjadi selama titrasi :



EDTA dan ion logam bereaksi dengan rasio (1:1).

- Analisa Logam Cr^{6+}

Analisa logam Cr^{6+} menggunakan larutan natrium tiosulfat 0,01 M, larutan KI 20% Sebanyak 2 ml dan larutan HCL pekat 4 ml.

Prosedur titrasi yaitu.25 ml Cr^{6+} , menambahkan 2 ml HCl pekat kemudian menambahkan KI 20% sebanyak 2 ml kocok hingga homogen dan biarkan beberapa

saat. Meniter dengan larutan natrium tiosulfat 0,01 M hingga warna kuning muda. Menambahkan 1 ml larutan kanji 1 % dan titer kembali dengan natrium tiosulfat 0,01 M hingga warna biru hilang.

- Analisa ion logam biner

Larutan logam biner di (Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+}) yang telah diberi perlakuan dengan biosorben kemudian dipisahkan antara larutan logam dan biosorbennya. Larutan yang terpisahkan ditentukan konsentrasi logam menggunakan AAS.

2. Analisa SEM-EDXA (Scanning Electron Microscope with Equiped Energy Dispersive X-Ray Analysis)

Untuk mengetahui morfologi dan komposisi unsur yang terdapat pada adsorbent digunakan alat SEM. SEM mampu melihat secara langsung perubahan struktur pada permukaan biosorbent sebelum dan sesudah penyerapan Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} .

Biosorbent yang telah digunakan, dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 60-80°C, setelah itu di lapisi dengan Au-Pd sebelum di analisa menggunakan SEM-EDXA. Analisa SEM-EDXA menggunakan SEM FEI-INSPECT S50.

3. Analisa FT-IR (*Fourier Transform Infrared Analysis*)

Analisa FT-IR digunakan untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi yang ada pada permukaan cell. Analisis FT-IR sebelum dan sesudah penyerapan Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} . Biosorben yang telah digunakan, dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 60-80°C, setelah itu dihancurkan hingga diperoleh biosorben berbentuk powder kemudian di analisa dengan menggunakan FT-IR dengan tipe (Thermo Scientific Nocolet).

3.6. Perhitungan Hasil Penelitian

1. % Removal dan Kapasitas Penyerapan

Setelah mengetahui konsentrasi logam sebelum dan sesudah proses biosorpsi, dapat dihitung kapasitas penyerapan dan % ratio removal pada logam Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} menggunakan rumus berikut :

$$q = \frac{C_i - C_e}{m} \times v \quad (1)$$

$$\% \text{Removal} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

Dimana :

q = Kapasitas penyerapan (mg/g)

C_i = Konsentrasi awal logam (mg/l)

C_e = Konsentrasi akhir logam (mg/l)

M = Berat adsorbent (g)

V = Volume larutan (L)

2. Model bioadsorpsi isothermal

Untuk mengevaluasi kemampuan biosorben dalam mengadsorpsi larutan logam berat dapat dilakukan dengan mendapatkan data keseimbangan biosorpsi yang diperoleh dari eksperimen untuk mengetahui kapasitas maksimum penyerapan pada adsorbent. Model yang digunakan yaitu model Isothermis Langmuir dan model Isothermis Freundlich. Model Langmuir menggunakan persamaan (6), model Isothermis Freundlich menggunakan persamaan (10) pada bab 2.

3. Kinetika isothermal biosorpsi

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam adsorben, sehingga untuk bisa teradsorpsi.

Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben umumnya berlangsung sangat cepat sehingga proses ini tidak mengontrol kecepatan adsorpsi secara keseluruhan.

Kinetika pada biadsorpsi Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} dianalisa dengan menggunakan 2 model kinetika yaitu *pseudo first order* dan *pseudo second order*. Identifikasi antara data eksperimen dan perhitungan model kinetika diekspresikan oleh nilai R^2 sebagai koefisien korelasi. Ketika nilai R^2 yang diperoleh relative tinggi, maka diindikasikan bahwa model tersebut menunjukkan bahwa berhasil mengikuti kinetika bioadsorpsi Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} . *Pseudo first order* menggunakan persamaan (16) pada bab 2, *pseudo second order* menggunakan persamaan (21) pada bab 2.

3.7. Rencana Jadwal Kegiatan

Tabel 3.1. Rencana dan Jadwal Kegiatan Penelitian Tahun 2017-2019

No	Kegiatan	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	April	Mei	juni	juli	Agts	sep	okto	Nov	Des
1	Studi Literatur														
2	Persiapan bahan dan alat														
3	Penelitian														
4	Analisa hasil eksperimen														
5	Pengerjaan Laporan														

BAB 4

PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian dan pembahasan mengenai bakteri *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* yang diimmobilisasi menggunakan alginate dan CaCl_2 pada proses biosorpsi logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} . Pada proses ini dilakukan pada system batch pada larutan logam sintesis dengan beberapa faktor yang mempengaruhi biosorpsi logam seperti pengaruh pH larutan, konsentrasi awal larutan logam, berat biosorben, pengaruh waktu kontak dan pengaruh pada larutan multi logam. Selain itu juga akan dibahas analisa data isothermal untuk menentukan kapasitas maksimum dengan menggunakan model *Langmuir* dan model *Freundlich* dan kinetika penyerapan yang menggambarkan tingkat penyerapan pada permukaan adsorben dan menggambarkan mekanisme penyerapan dengan menggunakan model kinetika pseudo first order dan pseudo second order. Selain itu, untuk mengetahui morfologi permukaan immobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* sebelum dan sesudah dikontakkan logam dianalisa menggunakan SEM-EDXA (*Scanning Electron Microscopy Equipped With Energy Dispersive X-Ray Analysis*) dan untuk mengetahui group fungsional yang mungkin berpengaruh pada proses penyerapan dideteksi menggunakan FTIR (*Fourier transforms infrared spectrometer*).

4.1 Karakteristik Morfologi Imobilisasi *Bacillus cereus*

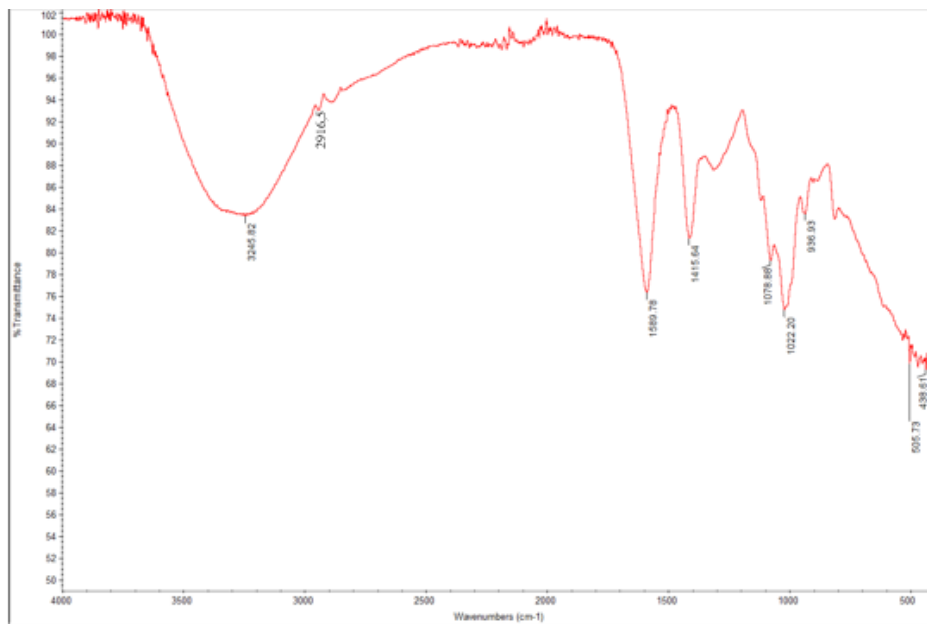
Morfologi permukaan pada immobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* sesudah dan sebelum dikontakkan dengan ke tiga ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} dianalisa menggunakan SEM-EDX dan group fungsional pada biosorben dianalisa menggunakan FT-IR.

4.1.1 Hasil Analisa FTIR

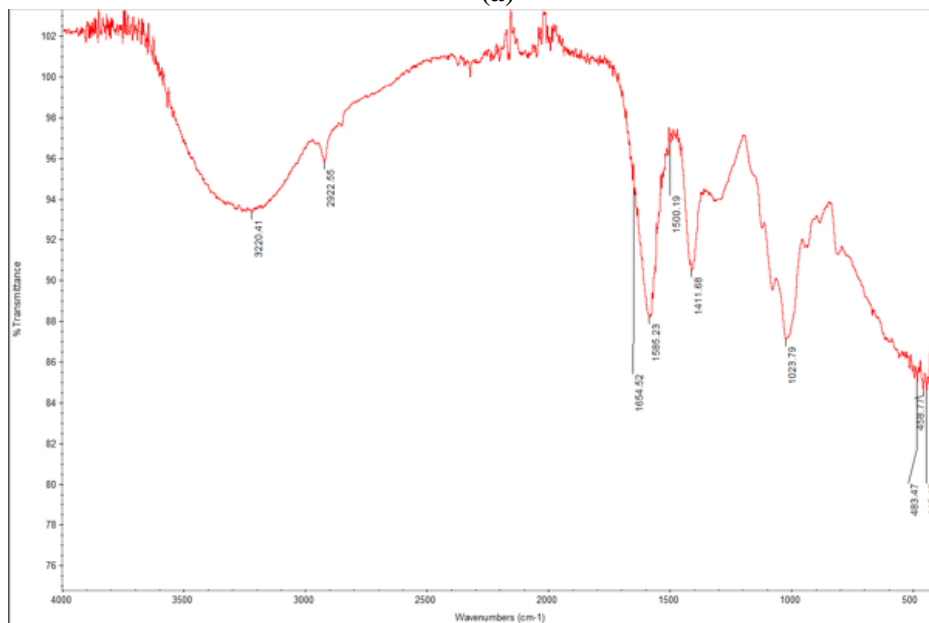
Dugaan bahwa struktur kimia sel dari immobilisasi biomassa *Bacillus cereus* dan *P.putida* mempengaruhi kemampuan untuk biosorpsi logam, sehingga untuk memahami mekanisme pengikatan pada proses biosorpsi, maka diperlukan untuk mengidentifikasi group fungsional yang ada pada biosorben immobilisasi *B.cereus* dan

P.putida. Untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang terkandung pada biosorben maka dianalisa menggunakan FTIR pada panjang gelombang 400-4000 cm^{-1} dengan menggunakan FTIR tipe Thermo Scientific Nicolet. Dari analisa ini diharapkan dapat diidentifikasi gugus fungsional apa saja yang terdapat pada biosorben.

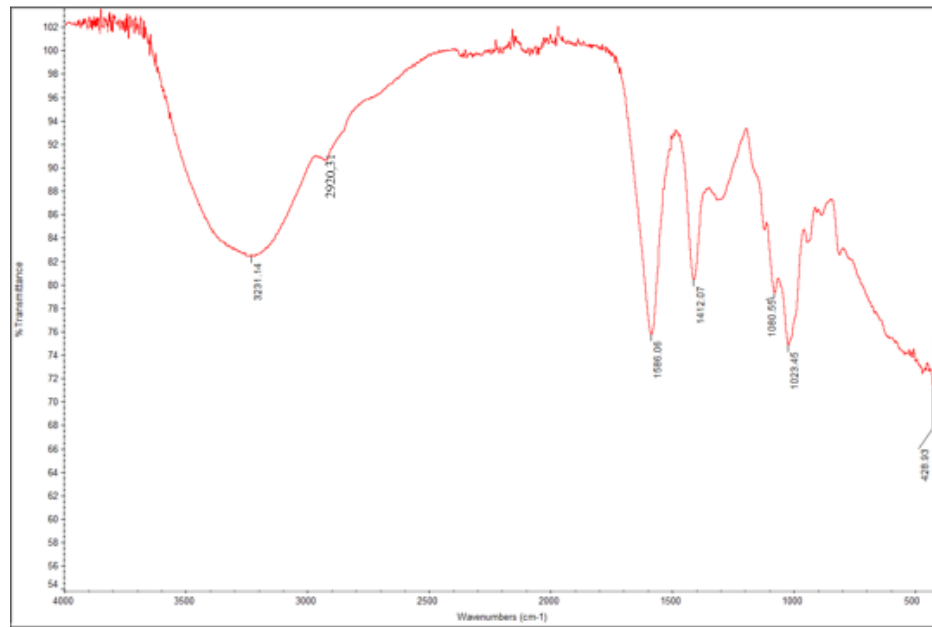
Hasil identifikasi gugus fungsional imobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* sebelum dan sesudah dikontakkan ion logam disajikan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



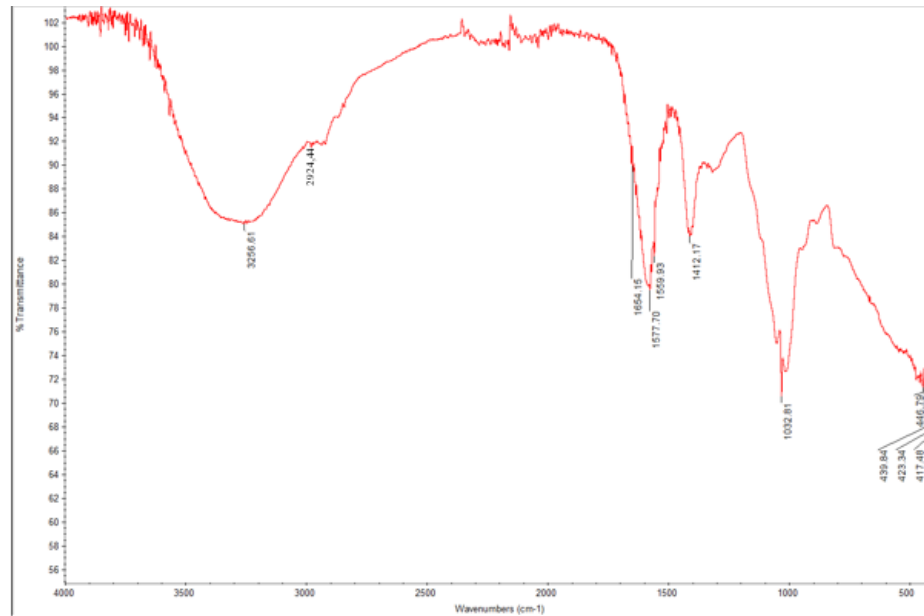
(a)



(b)

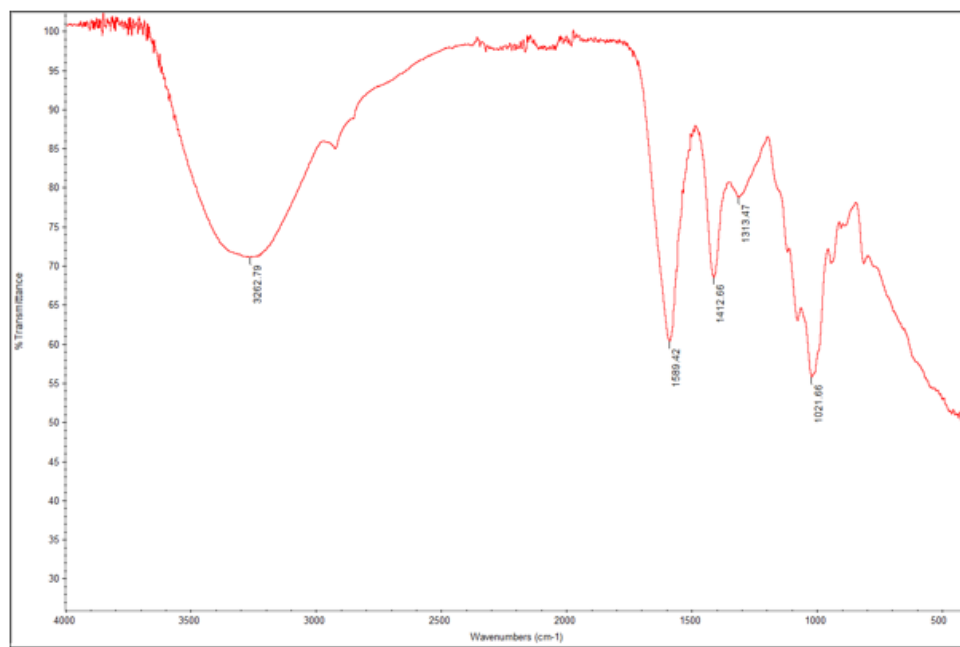


(c)

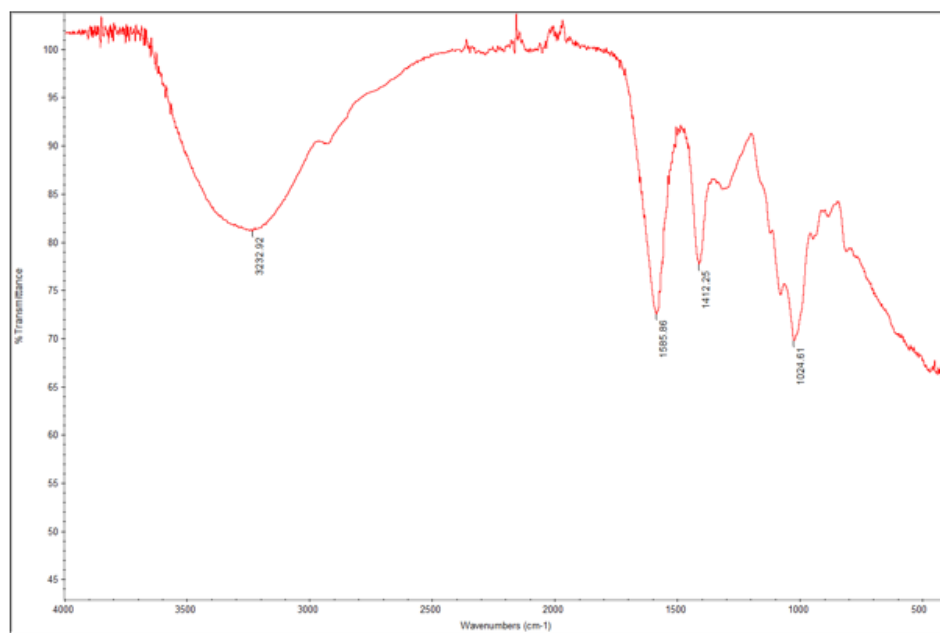


(d)

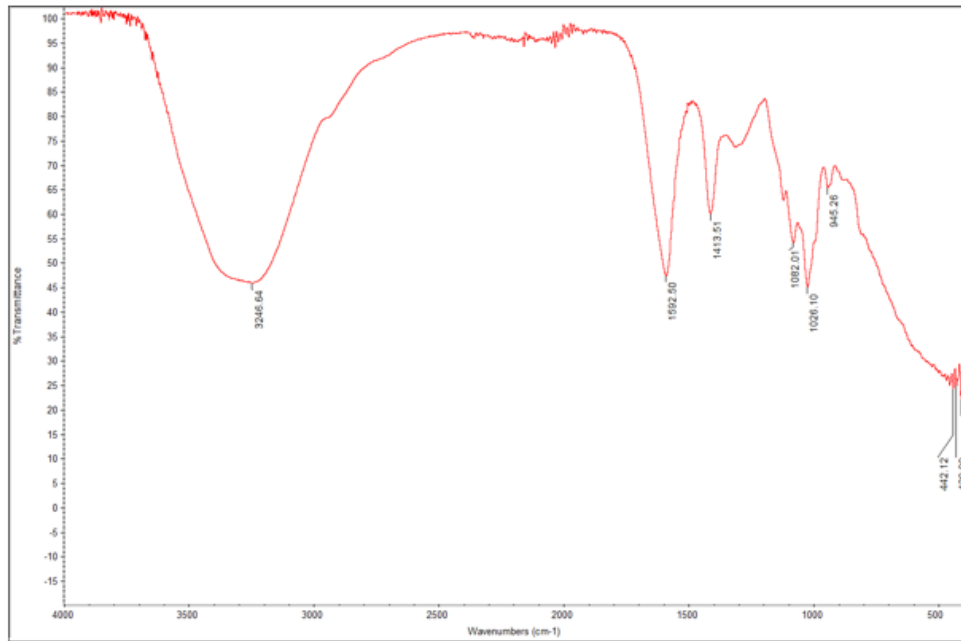
Gambar 4.1 Analisa FTIR pada biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* (a) sebelum dikontakkan dan (b),(c),(d) sesudah dikontakkan ion Ni,Cr dan Pb



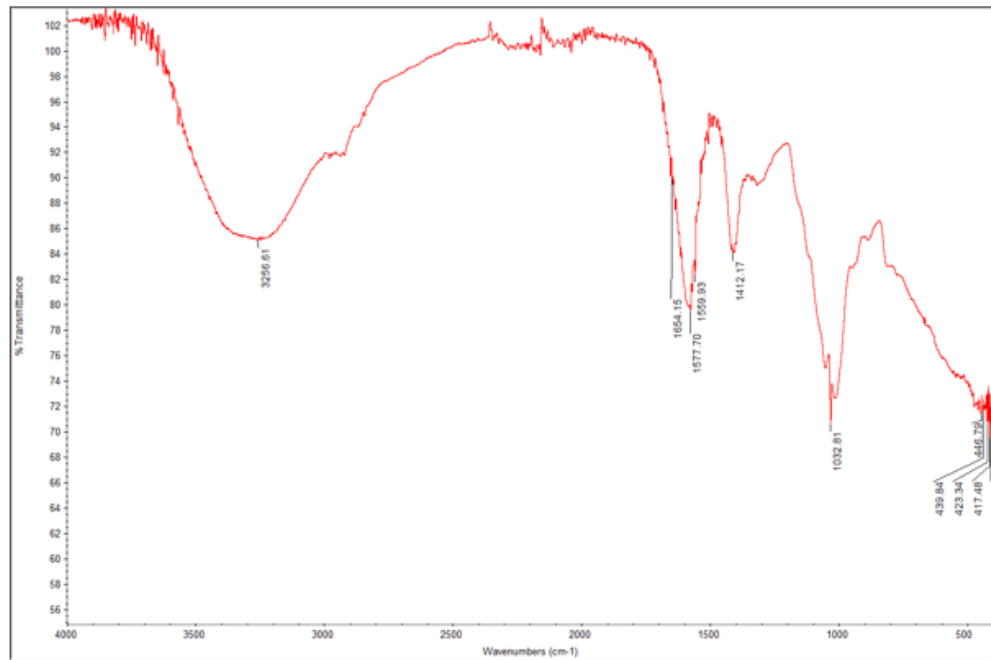
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.2 Analisa FTIR pada biosorben immobilisasi *P.putida* (a) sebelum dikontakkan dan (b),(c),(d) sesudah dikontakkan ion Ni,Cr dan Pb

Panjang gelombang dan kelompok-kelompok fungsional yang ada pada biosorben sebelum dikontakkan logam dan yang telah dikontakkan logam disajikan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.1. Panjang gelombang pada hasil analisa FTIR sebelum dan sesudah dikontakkan ion logam pada biosorben imobilisasi *B.cereus*

FTIR Spectra Range (cm ⁻¹)	Wavenumber range (cm ⁻¹)				Functional group assignment
	Sebelum dikontakkan logam	Setelah dikontakkan Ni	Setelah dikontakkan Pb	Setelah dikontakkan Cr	
3.600-3.100	3.245,82	3.220,41	3.256,61	3.231,14	OH dan -NH ₂
3.000-2.800	2.916,5	2.922,55	2.924,44	2.920,31	C-H
1.730-1.650	-	1.654,52	1.654,52	-	C=O
1.600-1.500	1.589,78	1.500,19	1.585,37 1.500,19	1.585,06	N-H
1.500-1.440	1.415,64	1.411,68	1.412,17	1.412,07	COO ⁻
1.350-1.000	1.022,2	1.028,79	1.032,81	1.080,56	, P-OH,,C-N,P-O-C, -SO ₃

Tabel 4.2. Panjang gelombang pada hasil analisa FTIR sebelum dan sesudah dikontakkan ion logam pada biosorben imobilisasi *P.putida*

FTIR Spectra Range (cm ⁻¹)	Wavenumber range (cm ⁻¹)				Functional group assignment
	Sebelum dikontakkan logam	Setelah dikontakkan Ni	Setelah dikontakkan Pb	Setelah dikontakkan Cr	
3.600-3.100	3.262,79	3.232,92	3.256,61	3.246,64	OH, NH ₂
1.730-1.650	-	-	1.654,15	-	C=O
1.600-1.500	1.589,42	1.585,86	1.577,70 1.559,93	1.590,50	N-H
1.500-1.400	1.412,66	1.422,25	1.412,17	1.413,51	COO ⁻
1350-1000	1.313,47 1.021,66	1.024,61	1.032,51	1.082,01 1.026,10	P-O-H,C-O,C-N,P-O-C, -SO ₃ ⁻
800-1000	-	-	-	945,26	-O-H

Pada Gambar 4.1 biosorben imobilisasi *B.cereus* sebelum dikontakkan memiliki beberapa puncak yang berbeda yaitu 3.245,82 cm⁻¹, 2.916,5 cm⁻¹, 1.589,78 cm⁻¹, 1.415,64 cm⁻¹, 1.022,2 cm⁻¹, 1.078,88 cm⁻¹. Pada Gambar 4.1 dan tabel 1 panjang gelombang lebar dan luas dari 3.600-3.100 cm⁻¹ karena terikat -OH dan -NH₂ yang

menunjukkan kehadiran kelompok hidroksil dan amina pada permukaan biosorben. Puncak antara $3.000-2.800\text{ cm}^{-1}$ adanya C-H regangan dari group CH_2 dan CH_3 . Signal puncak yang kuat $1.500-1.600\text{ cm}^{-1}$ termasuk pada N-H merupakan peregangan dari kelompok amida. Puncak asimetris pada vibrasi puncak $1.500-1.400\text{ cm}^{-1}$ merupakan kelompok karboksil COO^- . Selain itu panjang gelombang $1.000-1.300\text{ cm}^{-1}$ merupakan bagian dari C-N vibrasi stretching dari group amina dan P-O-C/P-O-H kelompok fosporil organik (A.Naskar,2015). Setelah dikontakkan dengan ion logam Pb, Ni dan Cr terjadi pergeseran puncak, terbentuknya puncak baru untuk logam Ni pada panjang gelombang $1654,52\text{ cm}^{-1}$.

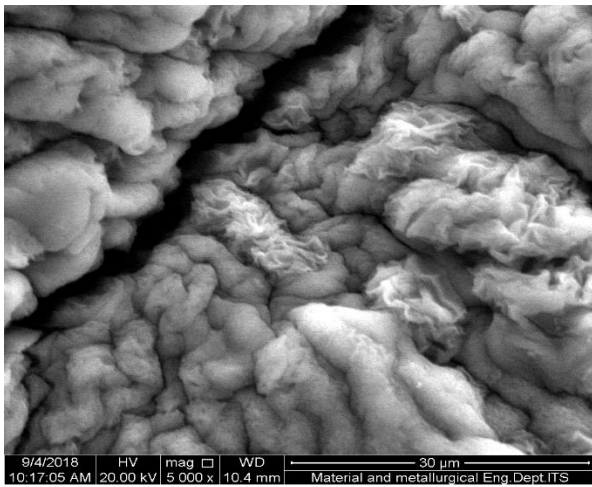
Begitu pula pada biosorben imobilisasi *P.putida*, pada Gambar 4.2 sebelum dikontakkan ion-ion logam memiliki puncak diantaranya $3.262,79\text{ cm}^{-1}$, $1.589,42\text{ cm}^{-1}$, $1.415,64\text{ cm}^{-1}$, $1.013,47\text{ cm}^{-1}$, $1.221,66\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan kelompok-kelompok dari $-\text{OH}$ dan $-\text{NH}_2$, N-H, COO^- , C-N dan P-O-C/P-O-H. Setelah dikontakkan dengan ion logam Pb, Ni dan Cr terjadi pergeseran puncak, terbentuknya puncak baru untuk logam Pb pada panjang gelombang $1654,15\text{ cm}^{-1}$.

Oleh karena itu kemungkinan diduga bahwa proses adsorpsi mengikuti interaksi antara ion serta pembentukan kompleks antara phosphate, amina, hidroksil dan karboksil pada permukaan biosorben. Selain itu dilihat pada transmittance pada puncak-puncak sebelum dan sesudah dikontakkan ion logam, pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 setelah dikontakkan ion logam secara substansial lebih rendah dibandingkan sebelum dikontakkan ion logam. Hal ini karena ikatan stretching setelah dikontakkan lebih pendek puncaknya karena adanya ion logam. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan (Norton, 2004; Lodeiro, 2006; Tunali, 2006; Gabr, 2008; Giotta, 2011) yang memvalidasi kontribusi kelompok fungsional dalam mengikat ion logam.

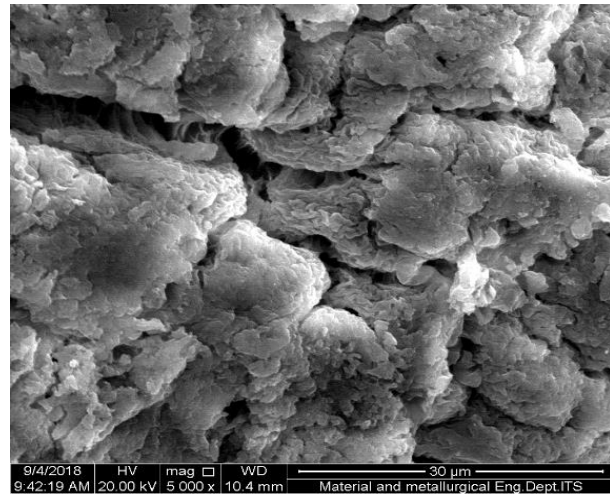
4.1.2 Hasil Analisa SEM-EDX

SEM-EDX digunakan untuk menganalisa morfologi pada permukaan dan EDX dapat dapat memberikan informasi mengenai karakteristik kimia dan elemen yang ada pada permukaan biosorben. Sebelum dianalisa, terlebih dahulu melapisi biosorben

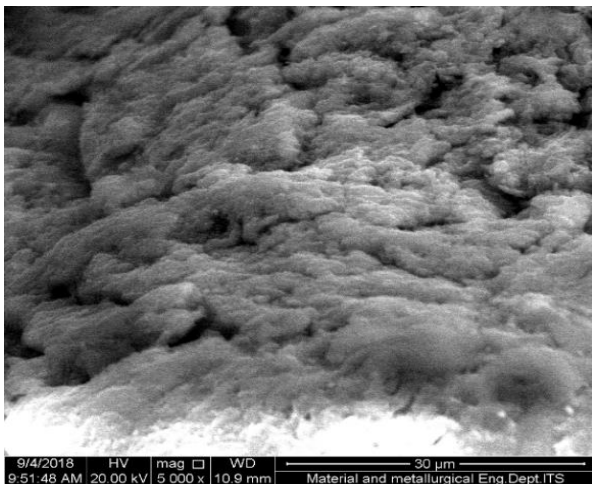
menggunakan Au-Pd. Tipe SEM-EDX yang digunakan SEM FEI-INSPECT S50. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.3-4.6 berikut.



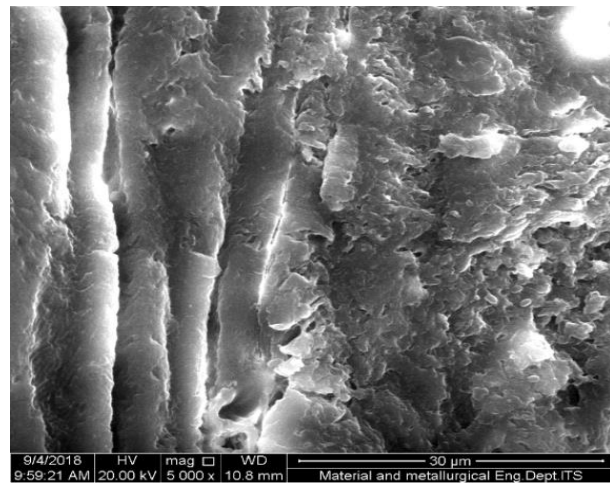
(a)



(b)

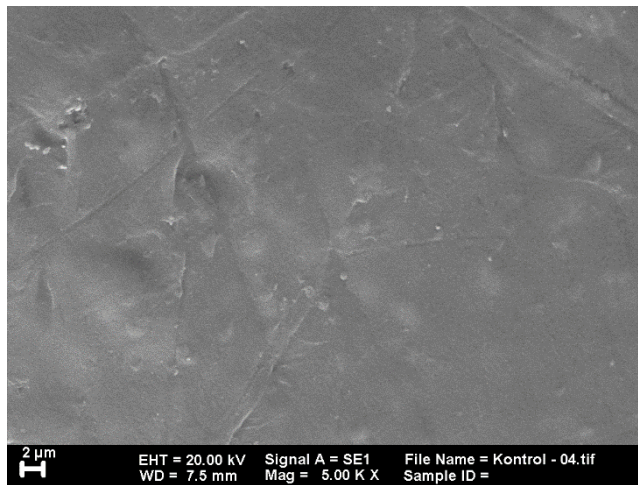


(c)

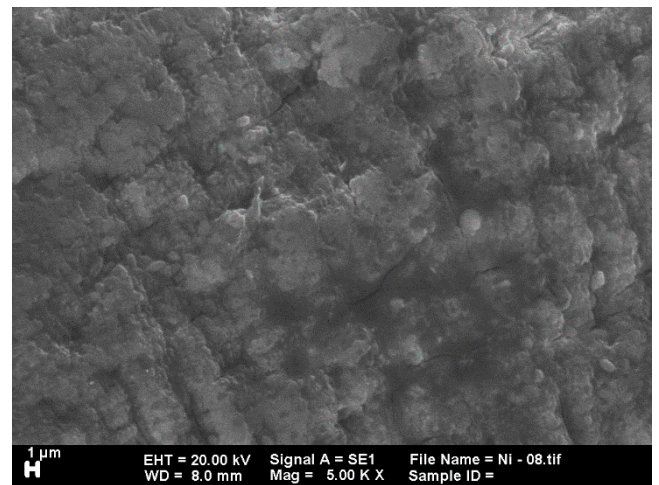


(d)

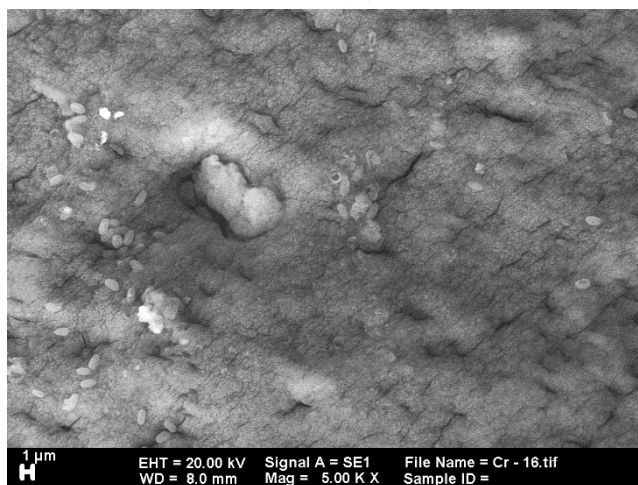
Gambar 4.3 Hasil analisa SEM pada permukaan biosorben imobilisasi *B.cereus* dengan perbesaran 5000X (a) sebelum dikontakkan, (b) setelah dikontakkan logam Ni, (c) setelah dikontakkan logam Pb, (d) setelah dikontakkan logam Cr



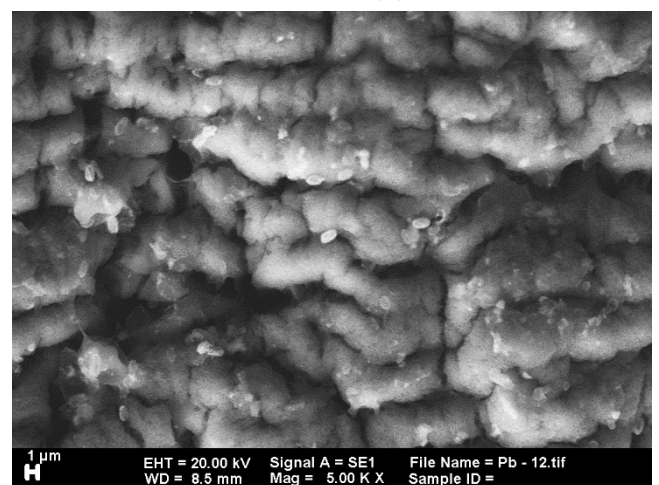
(a)



(b)



(c)



(d)

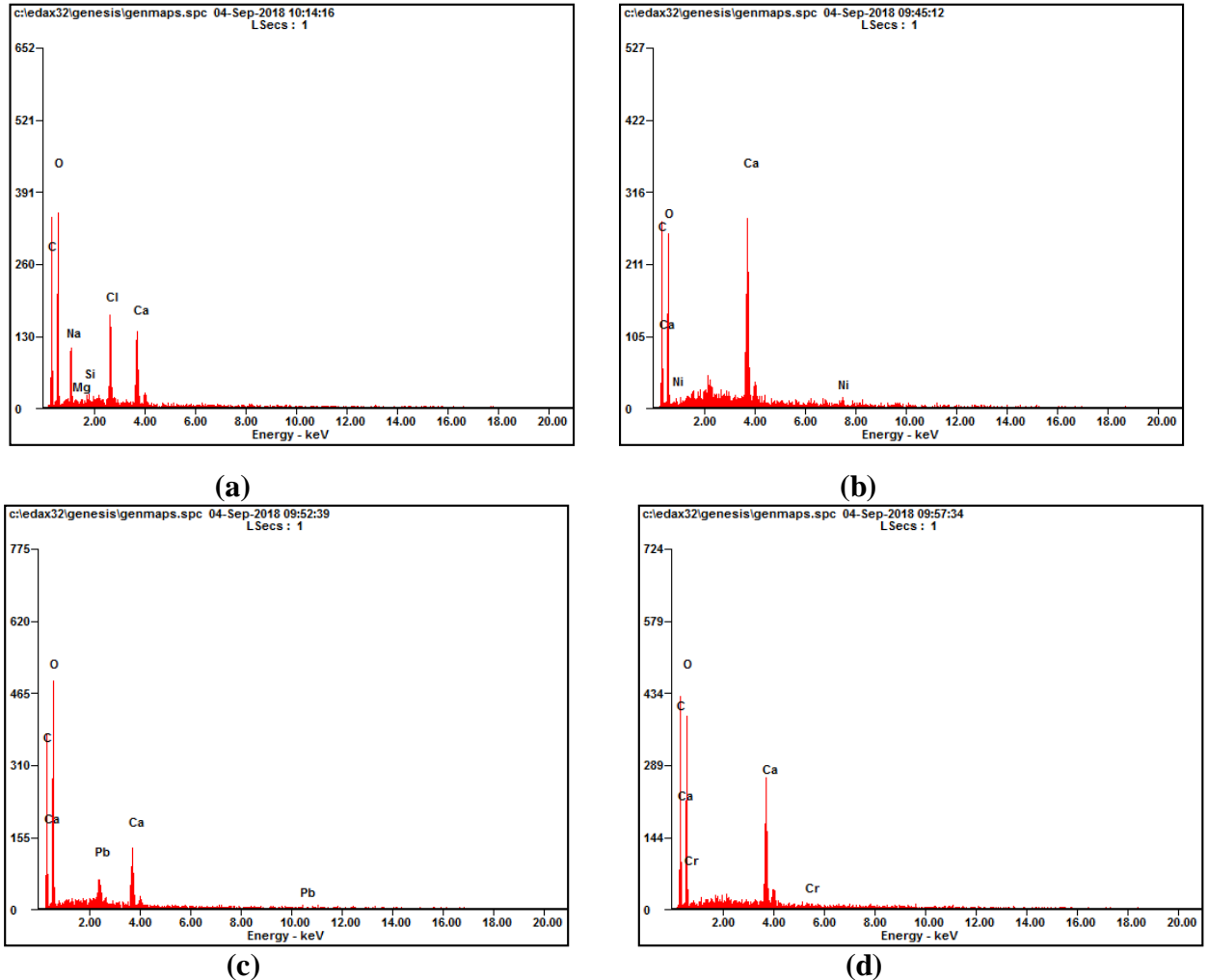
Gambar 4.4 Hasil analisa SEM pada permukaan biosorben immobilisasi *P.putida* dengan perbesaran 5000X (a) sebelum dikontakkan, (b) setelah dikontakkan logam Ni, (c) setelah dikontakkan logam Pb, (d) setelah dikontakkan logam Cr

Dari gambar 4.3 (a) immobilisasi *B.cereus* dikontakkan dengan ion-ion logam pada perbesaran 5000X. Pada gambar biosorben sebelum dikontakkan pada ion-ion logam terlihat celah-celah antara permukaan dan terlihat heterogen dengan wilayah yang luas. Setelah dikontakkan ion-ion logam pada gambar 4.2 (b),(c) dan d terjadi perubahan yang signifikan pada permukaan biosorben menjadi lebih halus dan teratur

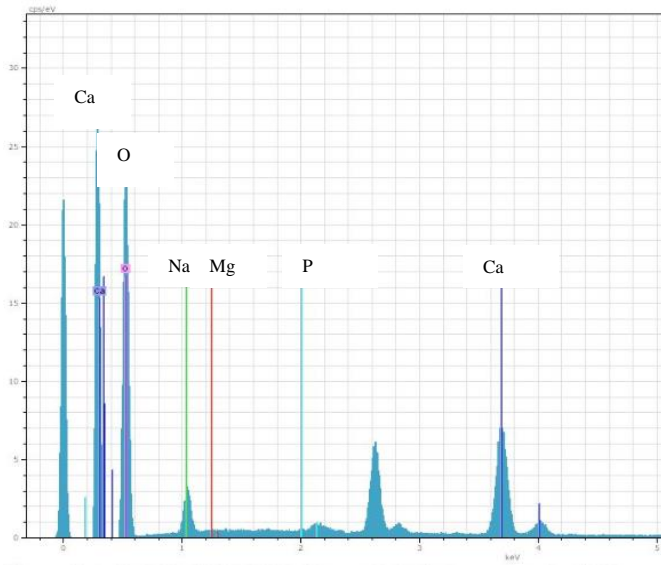
dibandingkan sebelum dikontakkan ion logam. setelah dikontakkan dengan ion-ion logam.

Begitu pula untuk biosorben imobilisasi *P.putida* pada Gambar 4.4 (a) sebelum dikontakkan terlihat mulus dan terlihat garis-garis. Setelah dikontakkan ion logam tampak berbeda, permukaan tampak kasar dan heterogen. Hal ini membuktikan terjadinya interaksi antara gugus fungsi yang ada pada permukaan biosorben dan ion logam dengan dilihat dari perubahan struktur pada permukaan biosorben.

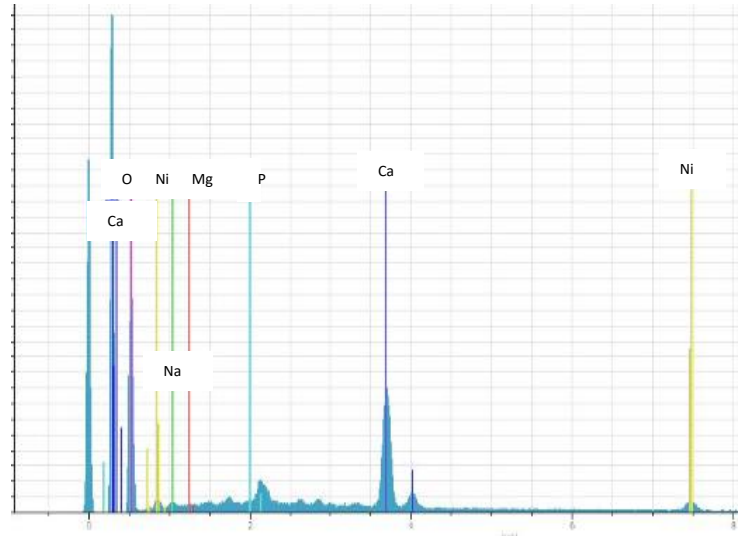
Selain itu, untuk membuktikan interaksi antara permukaan biosorben dan logam dilihat dari karakteristik kimia dan elemen yang ada pada permukaan biosorben dengan menggunakan EDX yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6 .



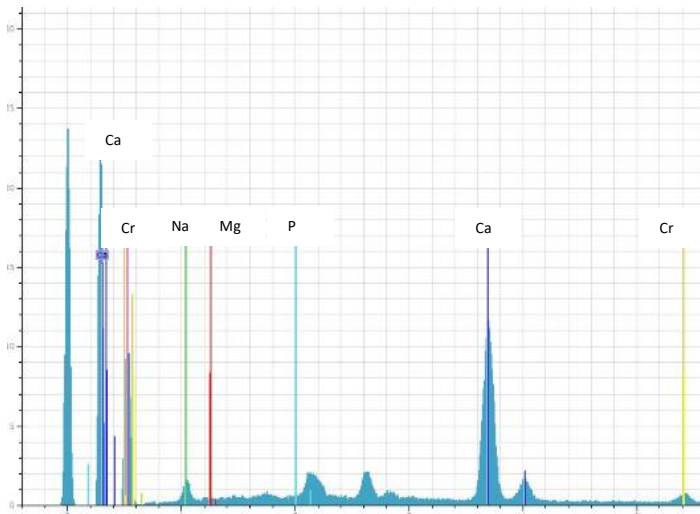
Gambar 4.5 Hasil analisa EDXA pada permukaan biosorben (a) sebelum dikontakkan, (b) setelah dikontakkan logam Ni, (c) setelah dikontakkan logam Pb, (d) setelah dikontakkan logam Cr



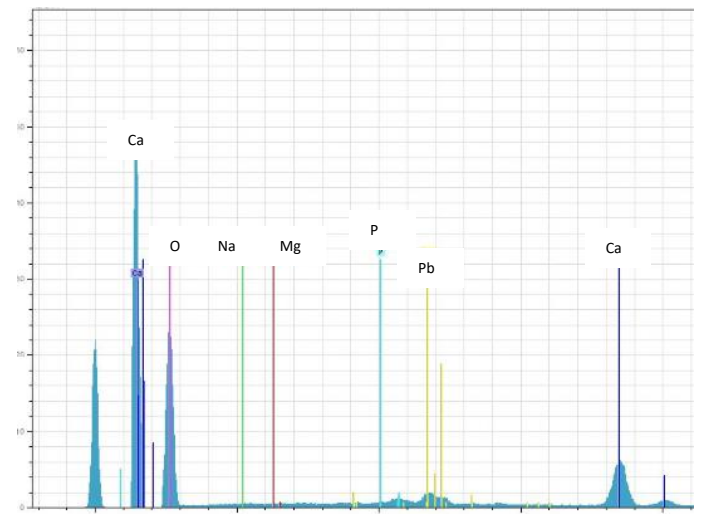
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.6 Hasil analisa EDXA pada permukaan biosorben *P.putida* (a) sebelum dikontakkan, (b) setelah dikontakkan logam Ni, (c) setelah dikontakkan logam Pb, (d) setelah dikontakkan logam Cr

Pada gambar 4.5 (a) analisa EDX pada *B.cereus* sebelum dikontakkan ion-ion logam terdapat elemen-elemen carbon, oxygen, natrium, calcium, magnesium dan potasium diperoleh dari komponen pada dinding cell bakteri yaitu polisakarida dan protein hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan (Naskar,2015). Setelah

dikontakkan ion logam Ni, Pb dan Cr pada gambar 4.3 (b), (c) dan (d) munculnya puncak-puncak yang menyatakan keberadaan ketiga ion logam tersebut.

Pada gambar 4.6 (a) biosorben *P.putida* tidak terdapat puncak-puncak yang menunjukkan kehadiran logam Ni, Pb dan Cr. Setelah dikontakkan dengan ion logam tampak puncak-puncak yang menunjukkan keberadaan logam Ni, Pb dan Cr .

Pada hasil yang diperoleh pada analisa SEM-EDX dan FT-IR mengindikasikan bahwa terdapat ineraksi antara permukaan kedua biosorben tersebut dengan larutan ion-ion logam seperti pertukaran ion antara komponen yang ada pada permukaan biosorben dan beberapa jenis interaksi lainnya seperti interaksi secara fisik dan interaksi dengan model kompleksasi.

Menurut Hughes dan Poole (1984) proses adsorpsi melalui pertukaran ion dan kompleksasi hanya berlangsung pada lapisan permukaan sel yang mempunyai situs-situs yang bermuatan berlawanan dengan muatan ion logam sehingga interaksinya merupakan interaksi pasif dan relatif cepat.

Molekul adsorben secara kimiawi dianggap mempunyai bagian aktif atau gugus fungsional yang mampu berinteraksi dengan logam. Jika proses adsorpsi melalui pertukaran ion, adsorpsi dipengaruhi oleh banyak proton dalam larutan yang berkompetisi dengan ion logam pada permukaan adsorben, sehingga pada pH yang rendah jumlah proton melimpah, peluang terjadinya pengikatan logam oleh adsorben relatif kecil, sebaliknya pada pH tinggi, jumlah proton relatif kecil menyebabkan peluang terjadinya pengikatan logam menjadi besar. Model pertukaran ion dapat ditulis sebagai berikut

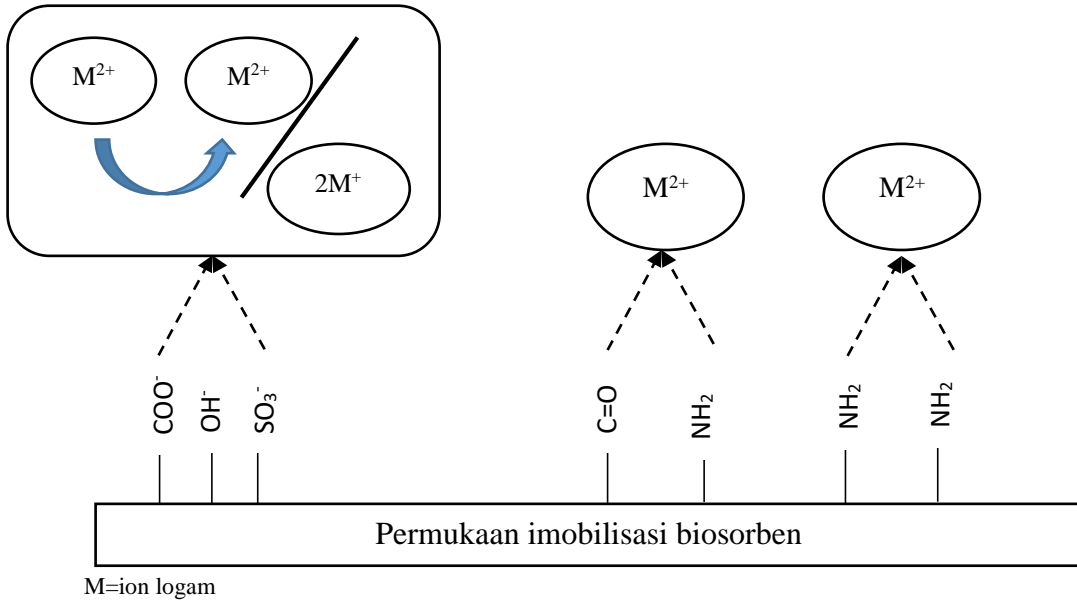


[Mⁿ⁺] adalah ion logam sedangkan [B] adalah bagian aktif pada adsorben. [B.M] adalah logam yang teradsorpsi oleh adsorben. Selain itu proses adsorpsi juga dapat melalui kompleksasi logam pada permukaan adsorben. Kompleksasi adalah peristiwa interaksi ion logam dengan ligan yang berupa gugus fungsional membentuk senyawa kompleks. Model kompleksasi dapat ditulis sebagai berikut.



[M^{r+}] adalah ion logam, [G-s] adalah gugus fungsional pada permukaan adsorben, dan [GMr-s] adalah kompleks logam-adsorben.

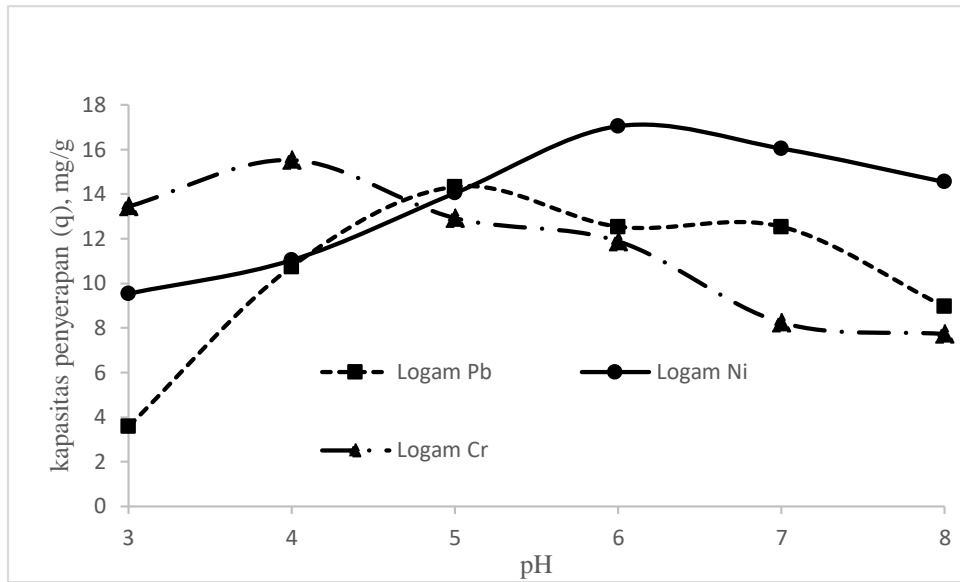
Dengan demikian, proses adsorpsi tampaknya dianggap sebagai pertukaran ion dengan kompleksasi atau interaksi fisik dapat dilihat pada Gambar 4.7, yang dikonfirmasi pada hasil FTIR dan EDXA sebelumnya.



Gambar 4.7 Mekanisme reaksi yang terjadi pada penyerapan logam terhadap permukaan imobilisasi *B.cereus* dan *P.putida*

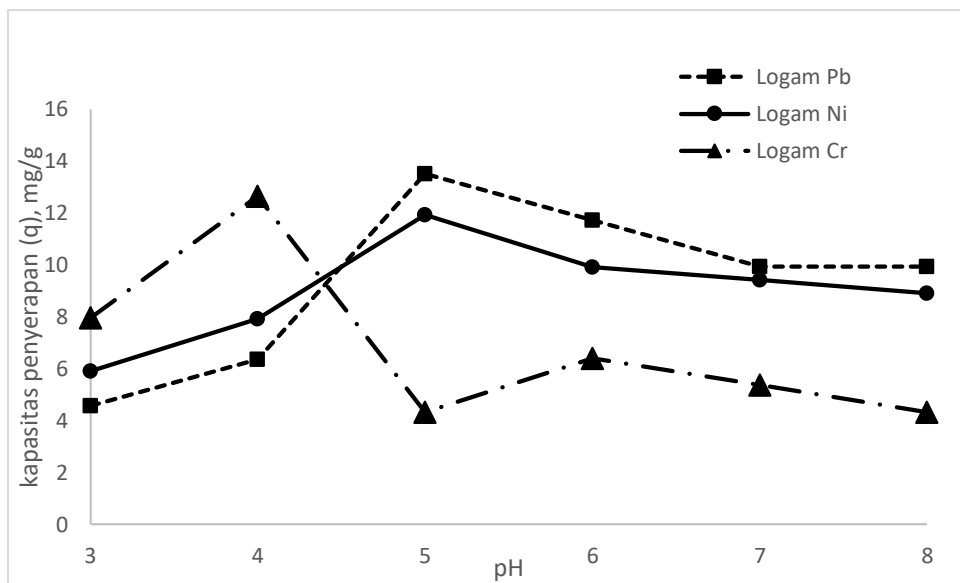
4.2 Pengaruh pH pada Adsorpsi Ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+}

Pada pembahasan ini pengaruh pH dilakukan pada variasi 3,4,5,6,7 dan 8 dengan konsentrasi larutan logam masing-masing 35 ppm dengan berat biosorben yang digunakan 150 mg dan volume larutan masing-masing 150 mL selama 1 jam dengan kecepatan shaker 150 rpm pada biosorben imobilisasi *B.cereus* dan *P.putida*. Pengaturan pH menggunakan 0,1 M HCl dan 0,1 M NaOH. Selanjutnya kadar ion logam setelah adsorpsi diukur. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biosorben. Hasil adsorpsi ion logam menggunakan imobilisasi biomassa *B.cereus* terdapat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 hasil adsorpsi ion logam menggunakan imobilisasi biomassa *P.putida*.



(c)

Gambar 4.8 Adsorpsi ion logam Ion logam Ni²⁺, ion logam Pb²⁺ dan ion logam Cr⁶⁺ oleh imobilisasi *B.cereus* dengan variasi pH



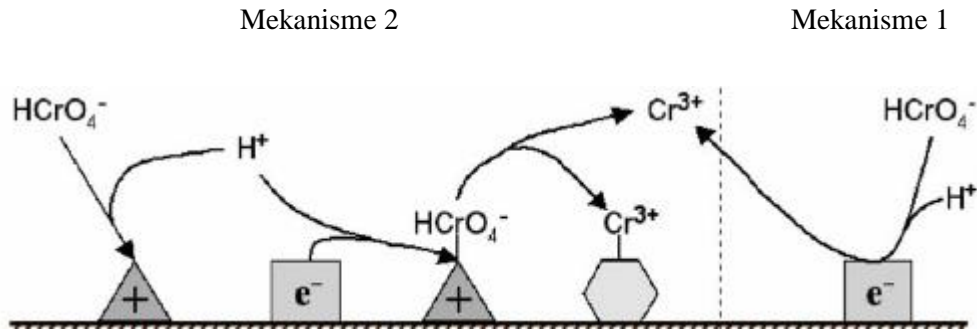
Gambar 4.9 Adsorpsi ion logam oleh imobilisasi *P.putida* dengan variasi pH
 (a) Ion logam Ni²⁺ (b) ion logam Pb²⁺ (c) ion logam Cr⁶⁺

Derajat keasaman (pH) merupakan faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi logam di dalam larutan, karena pH yang bervariasi pada larutan akan

berpengaruh pada muatan yang terdapat pada bagian aktif pada permukaan biosorben. Pada Gambar 4.8 (a), (b) dan Gambar 4.9 (a) dan (b) merupakan ion logam Ni^{2+} dan ion logam Pb^{2+} menggunakan imobilisasi *B.cereus* dan *P.putida*, ditemukan bahwa kapasitas penyerapan ion logam Ni^{2+} dan Pb^{2+} lebih rendah pada pH rendah dan mulai meningkat seiring dengan meningkatnya pH pada larutan. Pada Gambar 4.8 (a) dan (b) nilai pH terbaik diperoleh pH 6 untuk ion logam Ni^{2+} dan pH 5 untuk ion logam Pb^{2+} dengan nilai kapasitas penyerapan masing-masing 17,059 mg/g dan 14,325 mg/g. Sedangkan pada Gambar 4.9 (a) dan (b) nilai pH terbaik diperoleh pH 5 untuk ion logam Ni^{2+} dan ion logam Pb^{2+} dengan nilai kapasitas penyerapan masing-masing 11,92 mg/g dan 13,512 mg/g. Peningkatan pH atau penurunan pH dapat berpengaruh pada kemampuan biosorben menyerap logam. Ketika pH rendah, maka ion H^+ dalam larutan akan bersaing dengan ion logam, efek persaingan antara ion H^+ dan ion logam secara efektif dengan logam dalam pengikatan pada kelompok-kelompok fungsional yang ada pada biosorbent. Ketika pH mendekati 7, ion H^+ tidak begitu banyak sehingga memungkinkan untuk ion Ni^{2+} dan Pb^{2+} pada bagian-bagian aktif pada biosorben. Namun ketika pH ditingkatkan kembali mendekati basa maka akan terbentuk $\text{Ni}(\text{OH})_2$ dan $\text{Pb}(\text{OH})_2$ sehingga menghambat proses penyerapan (Ying Wu,2016).

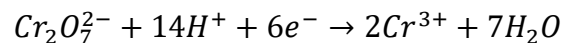
Beda halnya dengan ion logam Cr^{6+} penyerapan maksimum diperoleh pada pH 4 untuk kedua biosorben tersebut yaitu 15,533 mg/g dan 12,64 mg/g. Hal dikarenakan keberadaan ion H^+ disekitar situs pengikatan yang mengakibatkan protonasi kelompok fungsional pada biosorben sehingga menyebabkan daya tarik ion kromium meningkat pada kondisi asam. Ketika pH larutan ditingkatkan kapasitas penyerapan ion kromium menurun karena permukaan biosorben bermuatan negatif sehingga menolak untuk mengikat ion kromium karena bermuatan negatif juga (HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dan $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$). Selain itu, ada kemungkinan bahwa Cr^{6+} dapat direduksi menjadi Cr^{3+} ketika dikontakkan dengan biosorben. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Park.D,dkk 2005 mengatakan bahwa mekanisme removal Cr^{6+} di reduksi menjadi Cr^{3+} oleh biosorben dapat dilakukan dengan dua mekanisme.Mekanisme pertama dengan reduksi langsung dan reduksi tak langsung dalam fase cair melalui kontak dengan kelompok donor elektron pada biosorben. Mekanisme tak langsung terdiri dari tiga langkah yaitu,

pengikatan anionk Cr^{6+} pada kelompok yang bermuatan positif di permukaan biosorben, pengurangan Cr^{6+} ke Cr^{3+} oleh kelompok donor elektron yang berdekatan dan yang terakhir pelepasan ion Cr^{3+} ke dalam larutan karena tolakan elektron antara kelompok yang bermuatan positif dan ion Cr^{3+}



. **Gambar 4.10** Mekanisme reduksi ion Cr^{6+} menjadi Cr^{3+}

Proses ini terjadi pada pH asam antara 2-4, karena pada pH tersebut terdapat jumlah ion H^+ yang banyak sehingga dapat dengan mudah berkordinasi dengan gugus amino dan gugus karboksil yang ada pada permukaan biosorben. Dengan demikian, pada pH rendah dan penambahan asam membuat permukaan biosorben lebih positif sehingga lebih cepat untuk removal Cr^{6+} dalam larutan. Kemudian pada pH rendah juga dapat mempercepat reaksi reduksi pada kedua mekanisme tersebut karena proton mengambil bagian dalam reaksi ini berdasarkan reaksi sederhana berikut :



(Syam.,dkk,2009)

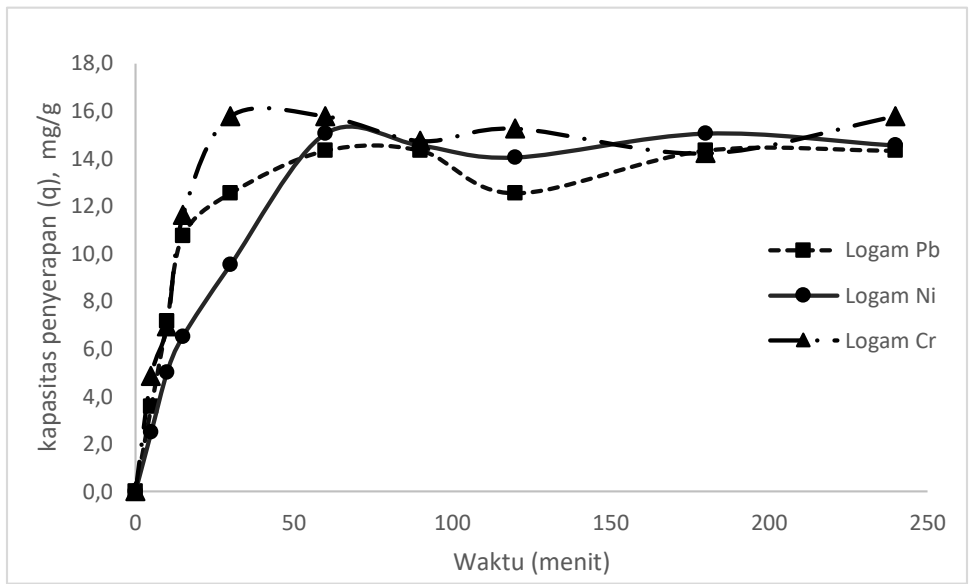
Oleh karena itu, pH larutan merupakan parameter yang paling penting dalam removal Cr^{6+} menggunakan biosorben dari biomassa yang tidak hidup, Untuk removal air limbah yang mengandung kromium umumnya menggunakan pH asam(Branhart,1997). Sementara itu, jika jumlah kelompok donor elektron dalam biomassa atau jumlah proton dalam larutan sedikit, maka ion kromium terikat pada biosorben tetap dalam keadaan heksavalen. Oleh karena itu mekanisme I dan II sangat bergantung pada system biosorpsi yaitu pH larutan, konsentrasi biomassa dan konsentrasi Cr^{6+} .

Hasil dari pengaruh pH ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Al-Fakih, 2015 menemukannya pH optimum 6 untuk ion Ni^{2+} menggunakan biomassa *Eupenicillium ludwigii*, Selain itu penelitian yang dilakukan Ibrahim,dkk 2016 menggunakan limbah kulit kacang diperoleh pH optimum 6. Untuk logam Pb^{2+} sesuai dengan penelitian yang dilakukan Kirova,dkk 2015 menggunakan biomassa *Streptomyces fradiae*, Pan J,dkk 2007 menggunakan biomassa *Bacillus cereus*, Svekova,dkk 2006 menggunakan biomassa jamur dan Asma,dkk 2006 menggunakan limbah hasil *Black gram husk* diperoleh pH optimum 5. Kemudian untuk logam Cr(VI) sesuai dengan penelitian yang dilakukan Prabhakaran,dkk 2009 menggunakan biosorben limbah teh dan ampas kopi dan Sajoj,dkk,2006 menggunakan serbuk gergaji diperoleh pH optimum 3-4,5.

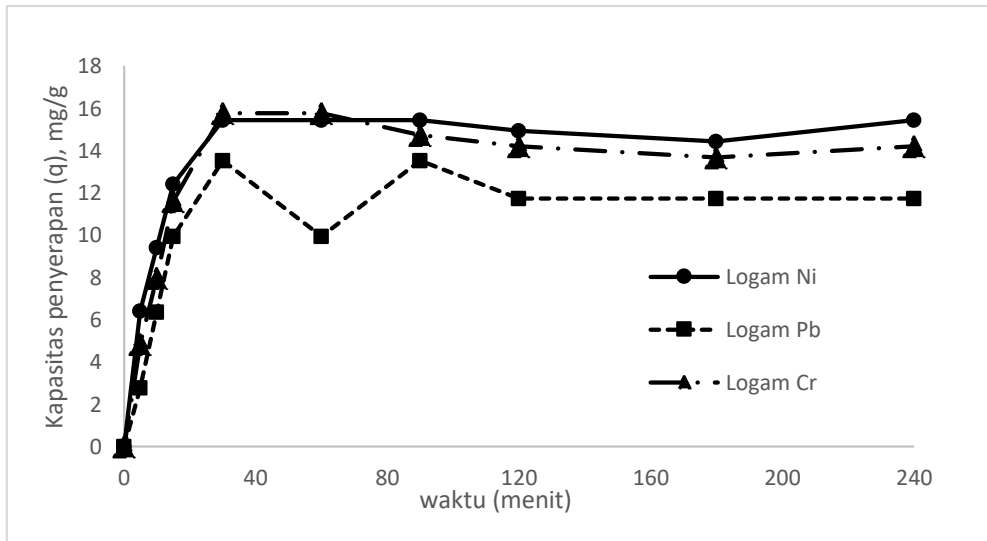
4.3 Pengaruh variasi waktu kontak terhadap Adsorpsi Ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} Cr^{6+}

Perlakuan ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi berapa lama waktu yang diperlukan untuk mencapai penyerapan maksimum pada ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} oleh biosorben imobilisasi *B.cereus* dan *P.putida*.

Adsorpsi logam dengan variasi waktu kontak dilakukan dengan cara mengontakkan 150 mg biosorben/ 150 mL larutan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} dengan konsentrasi awal masing-masing 35 ppm sebanyak 150 mL pada kondisi pH terbaik. Waktu kontak divariasikan dengan variasi 5,10,15,30,60,90,120,180 dan 240 menit. Selanjutnya, kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh adsorben dianalisa. Hasil kapasitas penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} oleh imobilisasi *B.cereus* dan *P.putida* disajikan dalam Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Pengaruh variasi waktu kontak terhadap adsorpsi Ion logam Ni²⁺, Ion logam Pb²⁺ dan Ion logam Cr⁶⁺ oleh Immobilisasi *B.cereus*



Gambar 4.12 Pengaruh variasi waktu kontak terhadap adsorpsi logam oleh Immobilisasi *P.putida* Ion logam Ni²⁺, Ion logam Pb²⁺ dan Ion logam Cr⁶⁺

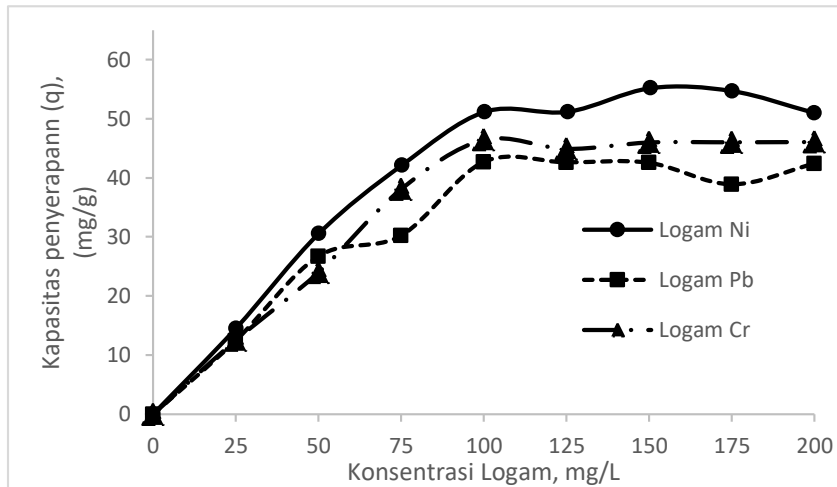
Dari Gambar 4.11 terlihat bahwa pada 10 menit pertama waktu kontak, terjadi penyerapan ion logam Ni²⁺, Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ masing-masing 5,017 mg/g 7,163 mg/g dan 6,933 mg/g. Sama halnya pada Gambar 4.12 diperoleh hasil penyerapan ion logam

Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} masing-masing yaitu 9,411 mg/g, 6,349 mg/g dan 7,96 mg/g. Berdasarkan teori bahwa proses biosorpsi yang tidak bergantung pada proses metabolisme atau dengan kata lain proses penyerapan ion logam yang hanya terjadi pada permukaan dinding sel secara fisika dan kimia, berlangsung lebih cepat karena tidak melibatkan proses akumulasi logam dalam sel. Penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} untuk kedua biosorben meningkat seiring meningkatnya waktu kontak. Untuk ion logam Ni^{2+} pada kedua biosorben meningkat hingga menit ke 60 setelah itu relative konstan pada perpanjangan waktu kontak berikutnya. Sama halnya dengan ion logam Pb^{2+} meningkat pada menit ke 60 dan 90. Untuk logam Cr^{6+} pada kedua biosorben meningkat hingga menit ke 60 setelah itu konstan. Hal ini memberikan informasi bahwa bagian aktif pada biosorben telah jenuh dengan ion logam. Pada ketiga logam dimenit setelah mencapai kesetimbangan terlihat kapasitasnya menurun hal ini disebabkan karena ion logam yang telah diserap terdesorpsi kembali yang disebabkan karena ketidakmampuan biosorben untuk menyerap ion logam. Setelah itu pada menit berikutnya kapasitas penyerapan kedua logam tersebut meningkat kembali tetapi tidak berubah secara signifikan. Waktu mencapai kesetimbangan penyerapan pada penelitian ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Mohammed.,dkk 2012 menggunakan biomassa *Rhizopus oryzae* dan Kirova,dkk 2015 menggunakan biomassa *Streptomyces fradiae* diperoleh waktu untuk mencapai kesetimbangan di menit ke 60-90 menit untuk ion logam Pb^{2+} . Begitu juga untuk logam Ni^{2+} sesuai dengan penelitian A.Selatnia,2004 dan Bartczak,dkk 2015. Kemudian untuk ion logam Cr^{6+} sesuai dengan penilitan yang dilakukan oleh Rachmallu,2016 menggunakan biosorben dari sekam *Anacardium occidentale* L dan Hassan,2013 menggunakan biosorben *Spirulina* sp diperoleh waktu optimum 30-60 menit.

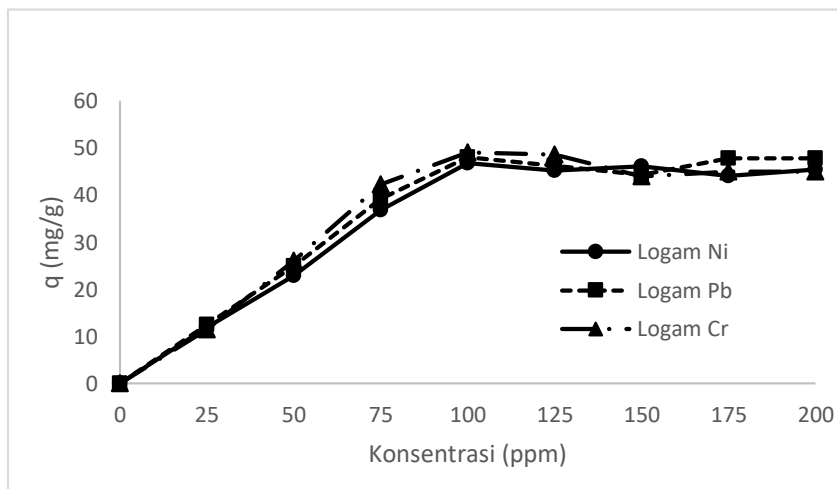
4.4 Pengaruh variasi konsentrasi ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} terhadap Adsorpsi Ion logam Ni^{2+} dan Pb^{2+}

Pengaruh konsentrasi awal logam pada kapasitas penyerapan logam dilakukan pada kondisi pH dan waktu terbaik pada masing-masing logam dengan menggunakan berat biosorben 150 mg/ 150 mL larutan. Efek dari konsentrasi awal logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} untuk menentukan kapasitas penyerapan maksimum oleh biosorben

imobilisasi bakteri *Bacillus cereus* dan *P.putida* diselidiki kisaran 25-200 mg/L. Hasil penelitian disajikan dalam gambar 4.13 dan 4.14 .



Gambar 4.13 Pengaruh konsentrasi awal pada biosorpsi ion Ion logam Ni²⁺, Ion logam Pb²⁺ dan Ion logam Cr⁶⁺ pada imobilisasi *B.cereus*



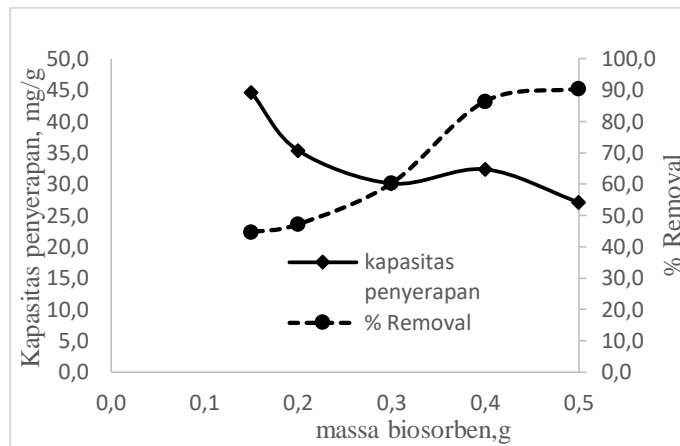
Gambar 4.14 Pengaruh konsentrasi awal pada biosorpsi Ion logam Ni²⁺, Ion logam Pb²⁺ dan Ion logam Cr⁶⁺ pada imobilisasi *P.putida*

Dari Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 terlihat bahwa jumlah ion logam yang terserap oleh biosorben dipengaruhi oleh variasi konsentrasi larutan yang digunakan. Semakin besar konsentrasi larutan yang dikontakkan dengan jumlah biomassa yang tetap maka semakin besar pula jumlah ion logam yang terserap oleh biomassa yang

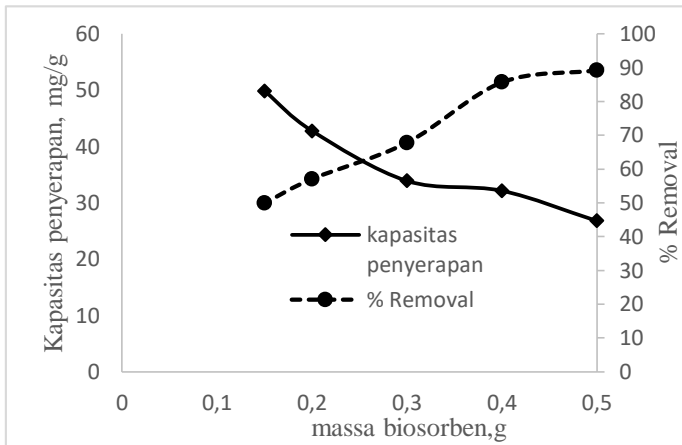
terimobilisasi. Dari gambar diatas terlihat bahwa konsentrasi 25-100 mg/L mengalami kenaikan kapasitas penyerapan pada kedua biosorben tersebut. Untuk biosorben imobilisasi *B.cereus* pada Gambar 4.13 mengalami peningkatan dari 14,63– 52,10 mg/g untuk ion logam Ni^{2+} , untuk logam Pb^{2+} meningkat dari 14,65- 42,868 mg/g dan untuk logam Cr^{6+} mengalami kenaikan kapasitas penyerapan 12,52-46,44 mg/g. Sama halnya pada Gambar 4.14 pada biosorben imobilisasi *P.putida* mengalami peningkatan dari 11,95– 46,81 mg/g untuk ion logam Ni^{2+} , untuk logam Pb^{2+} meningkat dari 12,465- 48,079 mg/g dan untuk logam Cr^{6+} mengalami kenaikan kapasitas penyerapan 11,48-49,04 mg/g. Pada konsentrasi rendah semua ion logam dilarutkan berinteraksi dengan situs-situs pengikatan pada biosorben sehingga ketika konsentrasi ion logam terus meningkat maka kapasitas penyerapannya pun meningkat. Hal ini dikarenakan ketika konsentrasi awal ditingkatkan maka akan memberikan kekuatan mendorong untuk mengatasi resistansi perpindahan masa antara biosorben dan fase bulk pada larutan. Selain itu, ketika konsentrasi awal ditingkatkan maka akan meningkatkan jumlah tumbukan antara ion logam dan biosorbent yang dapat meningkatkan proses biosorpsi (Aksu,2001). Namun ketika konsentrasi ditingkatkan kembali lebih dari 100 ppm tidak ada peningkatan kapasitas penyerapan logam yang signifikan hal ini dikarenakan biosorben telah jenuh dan tingginya jumlah ion logam yang bersaing pada situs-situs pengikatan yang tersedia pada biosorben. Ketika konsentrasi ditingkatkan, menyebabkan penurunan efisiensi penyerapan logam karena peningkatan jumlah ion logam yang bersaing untuk situs-situs pengikatan yang tersedia pada biosorben.

4.5 Pengaruh berat biosorben terhadap Adsorpsi Ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+}

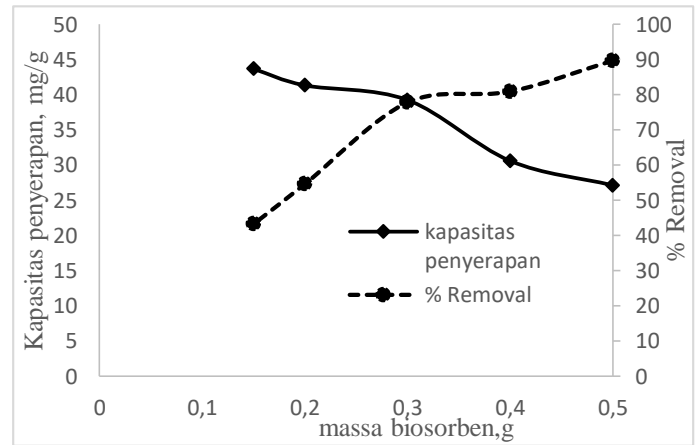
Pengaruh berat biosorben terhadap penyerapan logam dilakukan pada kondisi pH dan waktu terbaik pada konsentrasi 100 ppm dengan berat biosorben 150,200,300,400 dan 500 mg dengan volume masing-masing 150 mL. Hasil penelitian disajikan dalam gambar 4.15 dan Gambar 4.16 berikut :



(a)



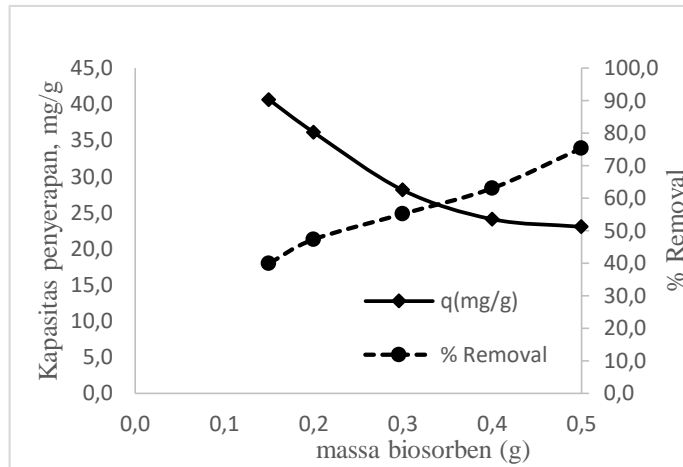
(a)



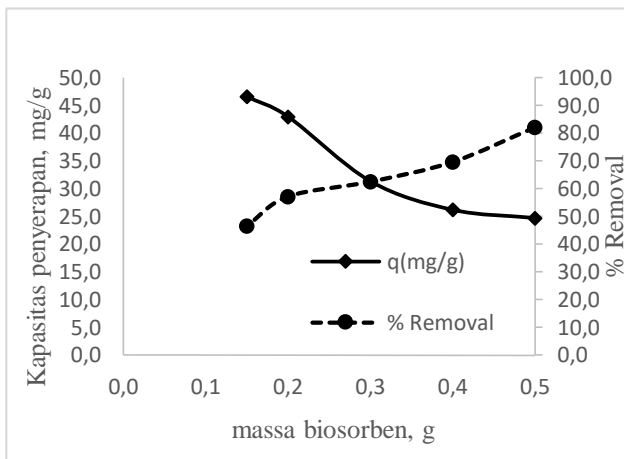
(c)

Gambar 4.15 Pengaruh berat biosorben terhadap % Removal logam (a) Ion logam Ni²⁺ (b) Ion logam Pb²⁺ dan (c) Ion logam Cr⁶⁺ oleh biosorben imobilisasi

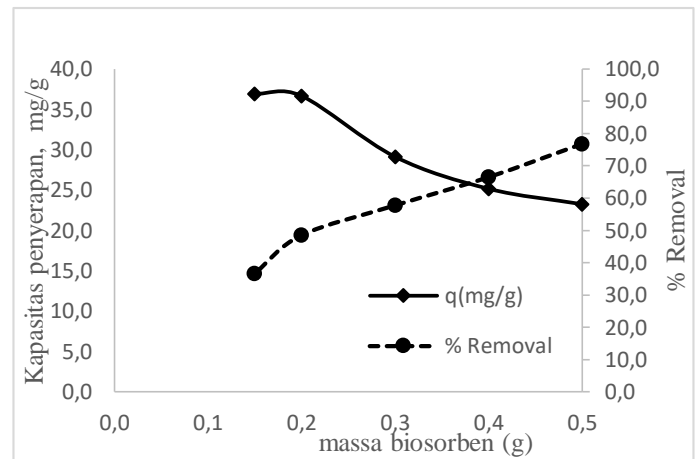
B.cereus



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.16 Pengaruh berat biosorben terhadap % Removal logam (a) Ion logam Ni²⁺ (b) Ion logam Pb²⁺ dan (c) Ion logam Cr⁶⁺ oleh biosorben imobilisasi

P.putida

Dari Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 diatas terlihat bahwa semakin ditingkatkan massa biosorbennya semakin tinggi nilai removal ketiga ion logam tersebut. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak biosorben yang digunakan, maka efisiensi adsorpsinya semakin tinggi karena semakin besar kemampuan biosorben dalam mengikat ion-ion logam tersebut. Beda halnya dengan kapasitas penyerapan yang dihasilkan, semakin ditingkatkan massa biosorben, semakin rendah kapasitas penyerapan yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan karena biosorben ketika massanya

ditingkatkan belum mencapai titik jenuh pada penyerapan ion-ion logam karena banyaknya tersedia bagian aktif untuk menyerap ion-ion logam (Rachmallu,2016).

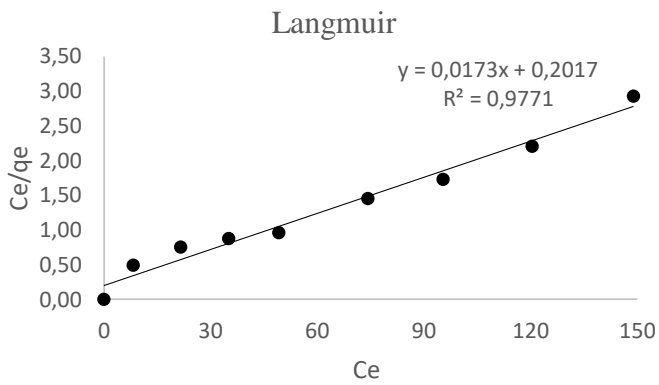
4.6 Studi Adsorpsi Isoterm Ion logam Ni^{2+} Pb^{2+} dan Cr^{6+} oleh biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *P.putida*

Isotherm adsorpsi menggambarkan hubungan antara kuantitas yang teradsorpsi dan konsentrasi logam dalam larutan. Data isotherm secara umum penting untuk menentukan kapasitas penyerapan maksimum oleh adsorben pada saat terjadi kesetimbangan. Kesetimbangan adsorpsi tercapai ketika konsentrasi adsorbat dalam larutan berada dalam keadaan setimbang dengan yang ada pada permukaan adsorben.

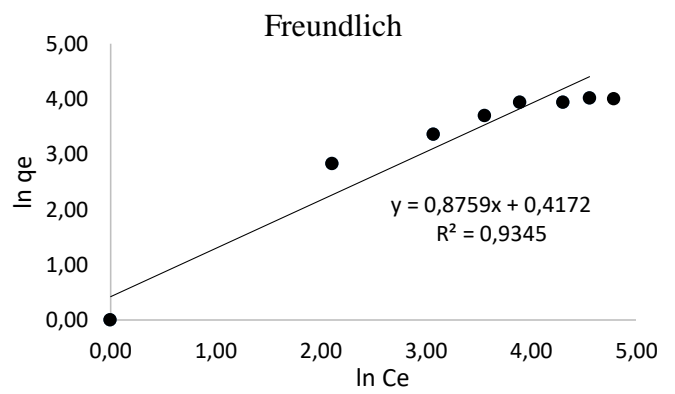
Pada penelitian ini, menggunakan dua bentuk persamaan isotherm adsorpsi, yaitu isotherm adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich* untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi pada penyerapan ion logam. Adsorpsi isotherm *Langmuir* merupakan model adsorpsi yang sangat sering digunakan untuk menunjukkan hubungan antara aktivitas adsorben dengan jumlah zat yang teradsorpsi pada temperatur konstan. *Langmuir* mengembangkan suatu model kuantitatif yang secara luas telah diterapkan untuk menjelaskan fenomena adsorpsi. *Langmuir* mengasumsikan bahwa permukaan adsorben mempunyai bagian-bagian aktif yang proporsional dengan luas permukaan. Pada masing-masing bagian aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul saja. Dengan demikian adsorpsi hanya terbatas pada pembentukan lapisan tunggal (monolayer). Sedangkan Isoterm adsorpsi *Freundlich* merupakan persamaan yang menghubungkan jumlah material yang diadsorpsi dengan konsentrasi material dalam larutan.

Penentuan isotherm biosorpsi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi ion logam yang direaksikan terhadap jumlah ion logam Ni,Pb dan Cr yang diserap oleh biosorben.

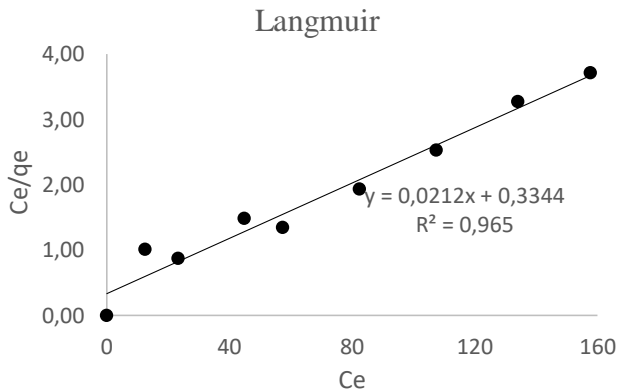
Data yang digunakan untuk mencari isotherm adsorpsi adalah data penyerapan pada variasi konsentrasi ketiga logam tersebut. Dari data tersebut plot linier model isotherm *Langmuir* dan *Freundlich* berdasarkan pada persamaan (6) untuk model isotherm *Langmuir* dan 8 untuk model isotherm *Freundlich*. Hasil yang disajikan pada gambar 4.17 dan gambar 418 berikut :



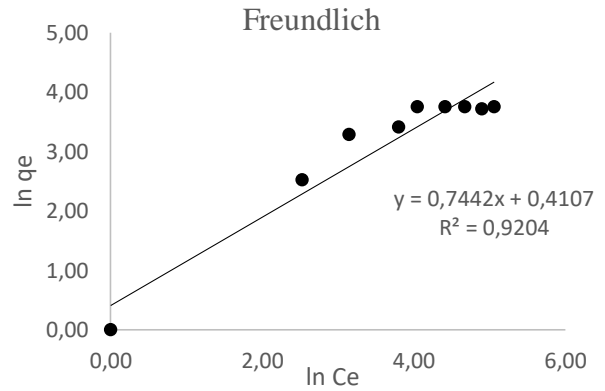
(a)



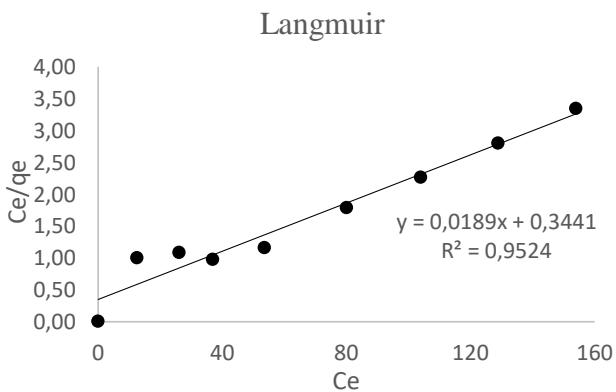
(b)



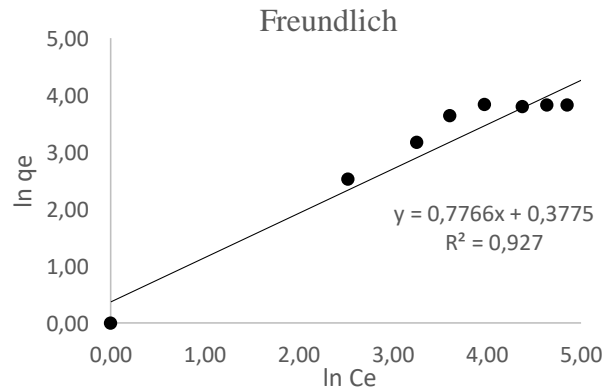
(c)



(d)

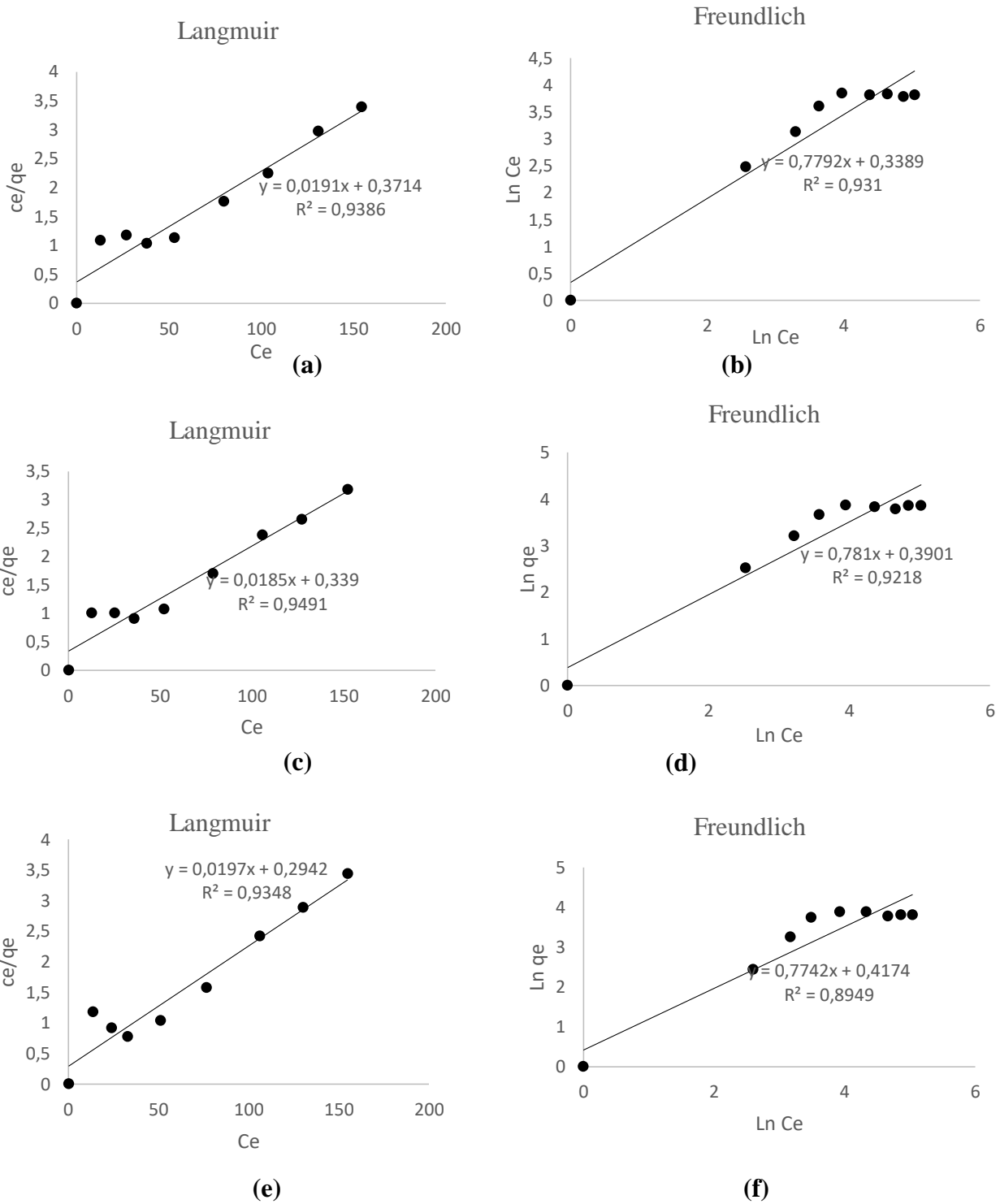


(e)



(f)

Gambar 4.17 Adsorpsi isotherm model *Langmuir* dan *Freundlich* (a),(b) ion logam Ni^{2+} , (c),(d) ion logam Pb^{2+} dan (e),(f) ion logam Cr^{6+} oleh biosorben imobilisasi *B.cereus*



Gambar 4.18 Adsorpsi isotherm model *Langmuir* dan *Freundlich* (a),(b) ion logam Ni^{2+} , (c),(d) ion logam Pb^{2+} dan (e),(f) ion logam Cr^{6+} oleh biosorben imobilisasi *P.putida*

Dari gambar diatas ,maka dapat ditemukan nilai-nilai dari isotherm model *Langmuir* dan *Freundlich* yang disajikan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 untuk biosorben imobilisasi *B.cereus*, Tabel 4.4 dan 4.5 untuk biosorben imobilisasi *P.putida*.

Tabel 4.2 konstanta *Langmuir* untuk penyerapan pada ion logam Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ pada biosorben imobilisasi *B.cereus*

Ion logam	slope	intercept	Qmax(mg/g)	K _L	R _L	R ²
Ni ²⁺	0,0173	0,2017	57,80347	0,0857	0,055-0,31729	0,9771
Pb ²⁺	0,0216	0,3344	46,2963	0,0646	0,071-0,3824	0,965
Cr ⁶⁺	0,0189	0,3441	51,9100	0,0549	0,0834-0,4214	0,9524

Tabel 4.3 konstanta *Freundlich* untuk penyerapan pada ion logam Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ pada biosorben imobilisasi *B.cereus*

Ion logam	slope	intercept	K _F	n	R ²
Ni ²⁺	0,8759	0,4172	1,5177	1,1416	0,9345
Pb ²⁺	0,7442	0,4107	1,7078	1,3437	0,9204
Cr ⁶⁺	0,7766	0,3775	1,4586	1,2876	0,927

Tabel 4.4 konstanta *Langmuir* untuk penyerapan pada ion logam Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ pada biosorben imobilisasi *P.putida*

Ion logam	slope	intercept	Qmax(mg/g)	K _L	R _L	R ²
Ni ²⁺	0,0191	0,3714	52,3560	0,0514	0,0886-0,4376	0,9386
Pb ²⁺	0,0185	0,339	54,054	0,0545	0,0840-0,4232	0,9491
Cr ⁶⁺	0,0197	0,2942	50,76142	0,0669	0,0695-0,3742	0,9348

Tabel 4.5 konstanta *Freundlich* untuk penyerapan pada ion logam Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ pada biosorben imobilisasi *Putida*

Ion logam	slope	intercept	K _F	n	R ²
Ni ²⁺	0,7792	0,3389	2,1797	2,9507	0,931
Pb ²⁺	0,781	0,3901	2,1836	2,5634	0,9218
Cr ⁶⁺	0,7742	0,4174	2,1688	2,3957	0,8949

Dari hasil yang disajikan pada tabel diatas, untuk mengevaluasi kesamaan data eksperimen dengan kedua model diatas adalah dengan melihat nilai koefisien korelasi (R^2). Dari ketiga ion logam diatas, model yang paling baik dideksripsikan oleh model isoterm *Langmuir* dengan nilai $R^2 > 0,90$.

Teori *Langmuir* yang menggunakan beberapa asumsi :

1. Seluruh permukaan adsorban memiliki aktivitas adsorpsi yang sama atau seragam.
2. Tidak terjadi interaksi antara molekul-molekul adsorbat.
3. Mekanisme adsorpsi yang terjadi seluruhnya sama.
4. Hanya terbentuk satu lapisan adsorbat yang sempurna di permukaan adsorban.

(*Langmuir*,1918)

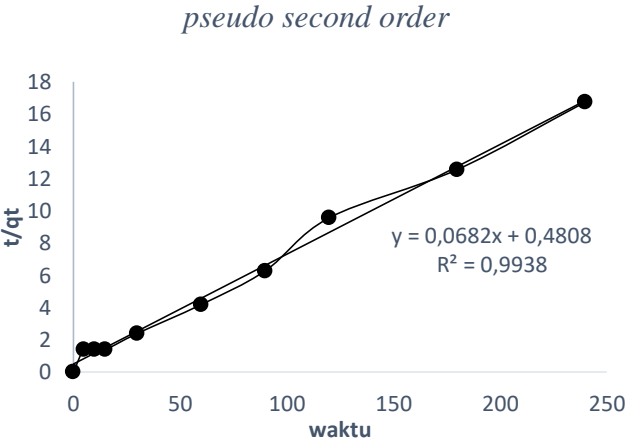
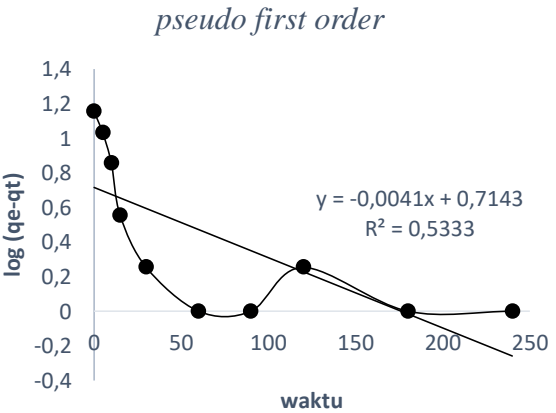
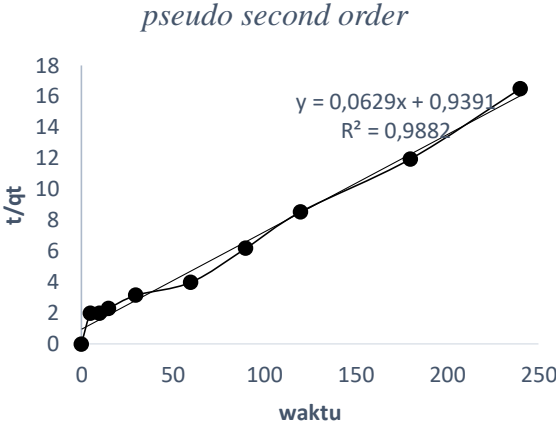
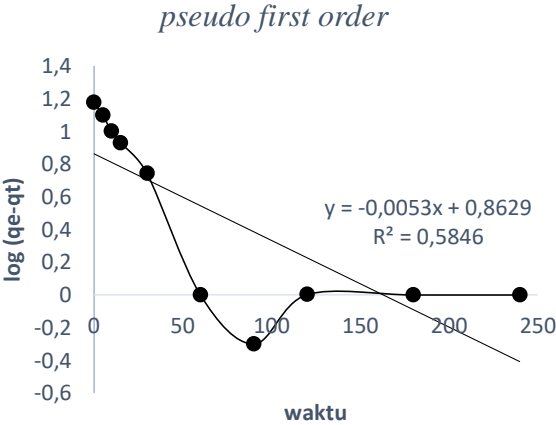
Karakteristik yang diperlukan untuk mengindikasikan isoterm *Langmuir* dinyatakan dalam bentuk R_L (kesetimbangan parameter). Dari nilai perhitungan R_L dapat menentukan sifat dari proses adsorpsi, jika $R_L > 1$ maka sifat dari proses tersebut *unfavorable*, jika $R_L = 1$ maka prosesnya *linier*, dan jika $0 < R_L < 1$ maka prosesnya *favorable* (Rachamalla,2016) . Dari hasil yang diperoleh, ketiga ion logam tersebut memiliki nilai R_L lebih 0 dan kurang dari 1, maka disarankan untuk penerapan model isoterm *Langmuir* untuk adsorpsi ke tiga ion logam tersebut menggunakan biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida*.

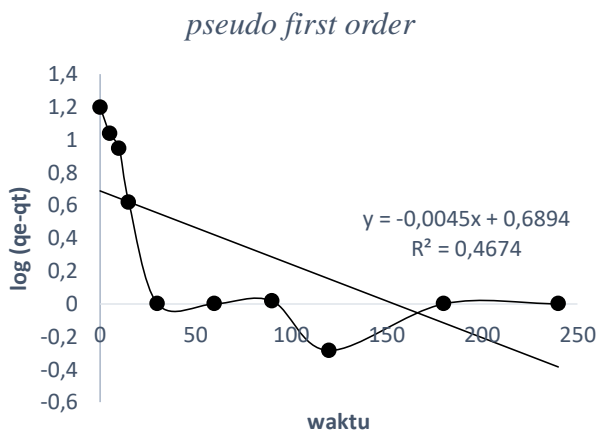
4.7 Studi Kinetika Ion logam Ni^{2+} Pb^{2+} dan Cr^{6+} oleh biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *P.putida*

Ketika adsorpsi digunakan untuk removal ion logam, maka sangat penting untuk menentukan proses kinetika. Kinetika adsorpsi menggambarkan laju serapan zat terlarut pada permukaan adsorben dan memberikan informasi tentang laju reaksi dan mekanisme penyerapan. Model kinetika didasarkan pada kuantitas pada substansi yang teradsorpsi sebagai fungsi waktu yang dilakukan pada penelitian ini. Pada penelitian ini untuk menentukan laju reaksi pada proses adsorpsi ini menggunakan model kinetika pseudo first order dan model kinetika second order.

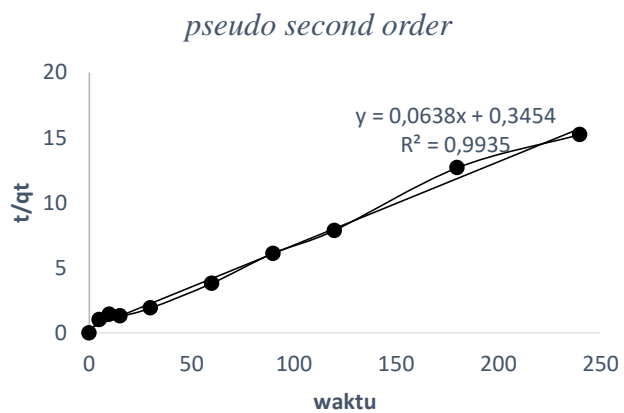
Data yang digunakan untuk mencari model kinetika adsorpsi adalah data penyerapan pada variasi waktu ketiga logam tersebut. Dari data tersebut plot linier model berdasarkan pada persamaan (14) dengan plot $\log(q_e - qt)$ vs t untuk model

pseudo first order dan persamaan (19) dengan plot t/qt vs t untuk model *pseudo second order*. Hasil yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20:



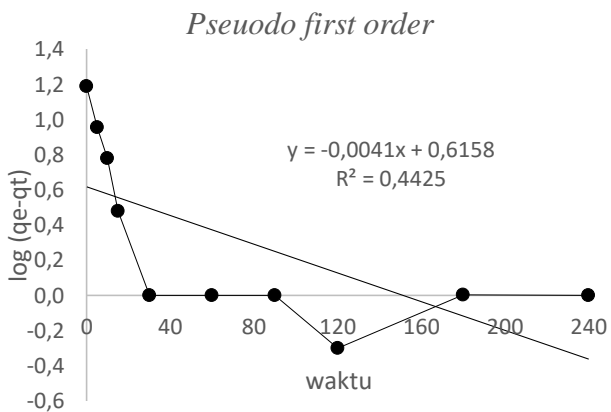


(e)

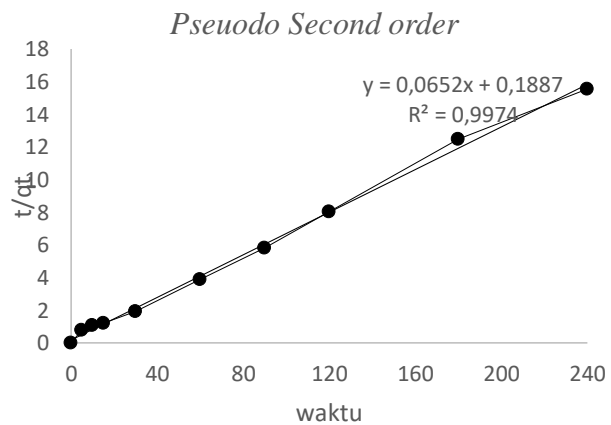


(f)

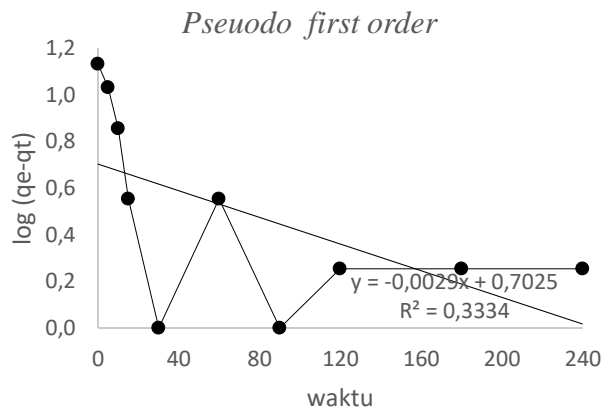
Gambar 4.19 Model kinetika *pseudo first order* dan *pseudo second order* (a),(b) ion logam Ni^{2+} , (c),(d) ion logam Pb^{2+} dan (e),(f) ion logam Cr^{6+} pada biosorben imobilisasi *B.cereus*



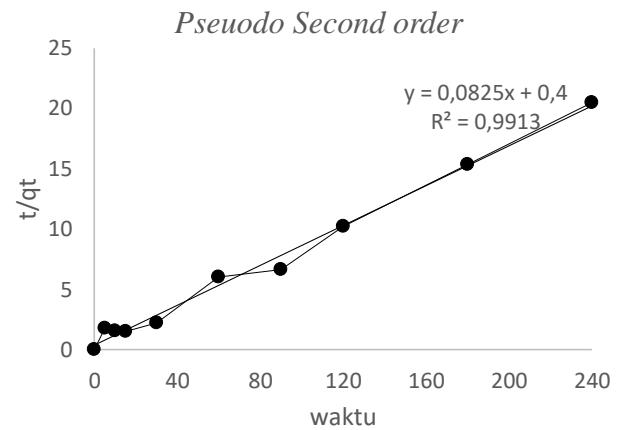
(a)



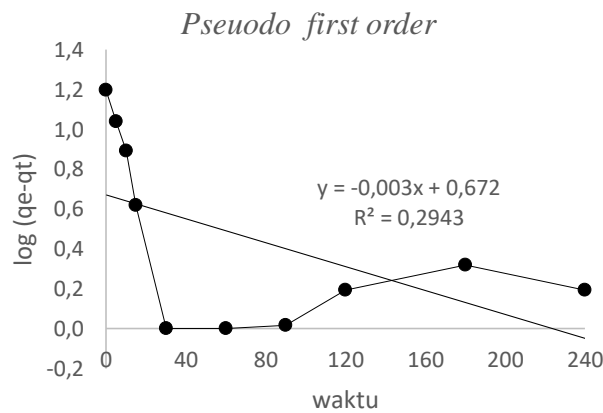
(b)



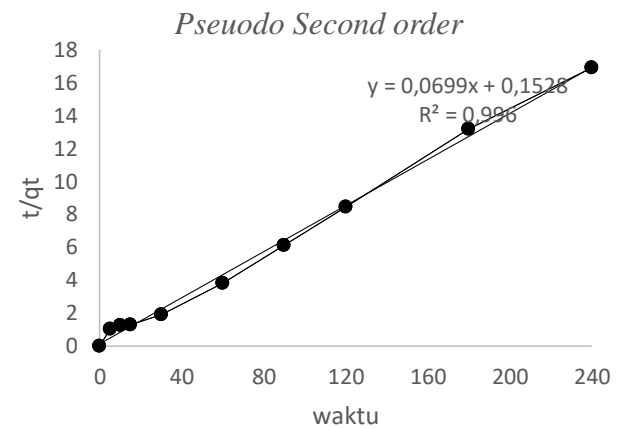
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.20 Model kinetika *pseudo first order* dan *pseudo second order* (a),(b) ion logam Ni^{2+} , (c),(d) ion logam Pb^{2+} dan (e),(f) ion logam Cr^{6+} pada biosorben imobilisasi *P.putida*

Dari gambar diatas terlihat bahwa untuk model kinetika pseudo first order ketika diplot pada $\text{log}(q_e - q_t)$ vs t tidak menghasilkan garis yang lurus dilihat dari nilai koefisien korelasi ketiga logam tersebut sangat rendah, hal ini menunjukkan bahwa sistem biosorpsi tidak mengikuti model kinetika *pseudo first order*. Beda halnya dengan model kinetika *pseudo second order*, dari gambar diatas terlihat menghasilkan

garis yang lurus dengan nilai koefisien korelasi (R^2) > 0,95. Parameter model kinetika *pseudo first order* dan *pseudo second order* disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4.6 Parameter model kinetika *pseudo first order* dan *Pseudo second order* pada ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} pada biosorben imobilisasi *B.cereus*

Ion Logam	qe eks (mg/g)	<i>Pseudo First order</i>			<i>Pseudo Second order</i>		
		qe perhitungan (mg/g)	k ₁ (g/mg.min)	R ²	qe perhitungan (mg/g)	k ₂ (g/mg.min)	R ²
Ni	15,0519	7,2929	0,0127	0,5846	15,8982	0,0042	0,9882
Pb	14,3253	5,1796	0,0094	0,5333	14,6627	0,0096	0,9938
Cr	15,7733	4,8910	0,0104	0,4674	15,6739	0,0117	0,9935

Tabel 4.7 Parameter model kinetika *pseudo first order* dan *Pseudo second order* pada ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} pada biosorben imobilisasi *P.putida*

Ion Logam	qe eks (mg/g)	<i>Pseudo First order</i>			<i>Pseudo Second order</i>		
		qe perhitungan (mg/g)	k ₁ (g/mg.min)	R ²	qe perhitungan (mg/g)	k ₂ (g/mg.min)	R ²
Ni	15,4325	4,1286	0,0094	0,4425	15,3374	0,1887	0,9974
Pb	13,5121	5,0408	0,0067	0,3334	12,1212	0,4000	0,9913
Cr	15,7600	4,6989	0,0069	0,2943	14,3062	0,1528	0,9960

Dari Tabel 4.6 dan 4.7 diatas, dilihat bahwa kapasitas penyerapan pada kapasitas penyerapan secara eksperimen dan berdasarkan perhitungan kurang lebih sama sehingga menunjukkan bahwa biosorpsi pada ketiga ion logam tersebut dideksripsikan menggunakan model kinetika *pseudo second order*.

Dari kedua model tersebut memiliki kinetika parameter yang berguna untuk memberikan informasi proses dan mekanisme adsorpsi yang terjadi. Untuk model *pseudo first order* mengasumsikan bahwa laju reaksi perubahan penyerapan berbanding lurus dengan perubahan konsentrasi larutan dan jumlah penyerapan pada adsorben terhadap waktu. Berdasarkan hasil diatas bahwa koefisien korelasi untuk model *pseudo first order* < 0,95. Hal ini tidak cukup untuk menjelaskan mekanisme penyerapan ion-ion logam terhadap biosorben Imobilisasi *B.cereus* dan *P.putida*.

Model ini bekerja pada proses adsorpsi yang sangat cepat, Ho menyebutkan bahwa penggunaan model ini tidak cocok untuk memprediksi mekanisme kinetika adsorpsi pada periode seluruh adsorpsi (Ho.,dkk,1999).

Untuk model *pseudo second order* mengasumsikan bahwa laju reaksi penyerapan sebanding dengan jumlah bagian-bagian aktif yang kosong pada biosorben. Dari hasil yang diperoleh moder ini lebih baik karena nilai koefisien korelasinya > 0,95, karena model ini bersifat spesifik dan terjadi karena adanya ikatan kimia antara adsorben dengan zat yang teradsorpsi (adsorbat) sehingga berlangsung lebih cepat. Ikatan kimia yang terjadi yaitu melibatkan pertukaran ion antara ion logam yang ada pada larutan dengan kelompok fungsional yang ada pada biosorben (Arica dan Bayramoglu,2009).

4.8 Pengaruh multi logam terhadap penyerapan Ion logam Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ oleh biosorben immobilisasi *Bacillus cereus*

Pada penelitian ini, melihat pengaruh penyerapan pada logam campuran oleh biosorben immobilisasi *Bacillus cereus* dan *P.putida*. Untuk melihat bagaimana removal masing-masing logam Ni²⁺, Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ ketika ketiga logam tersebut di campurkan. Logam divariasikan dengan perbandingan 1:1 pada kondisi pH optimum dan waktu optimum dengan berat biosorben 500 mg/150 mL larutan . Desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sistem biner yaitu Ni²⁺:Pb²⁺; Ni²⁺:Cr⁶⁺ ; Pb²⁺:Ni²⁺ ; Pb²⁺:Cr⁶⁺ dan Cr⁶⁺:Ni²⁺ ; Cr⁶⁺:Pb²⁺ pada konsentrasi Ni²⁺:Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ 50 mg/l . Kemudian sistem tersier dengan sistem Ni²⁺:Pb²⁺: Cr⁶⁺ Hasil disajikan pada Tabel 4.8- 4.12 Berikut :

Tabel 4.8 Pengaruh logam campuran terhadap penyerapan ion-ion logam pada sistem biner Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ menggunakan imobilisasi *B.cereus*

Sistem	Konsentrasi awal larutan (mg/l)	Konsentrasi akhir larutan(mg/l)	Konsentrasi ion terserap(mg/l)	% removal
Ni awal	50	6,87	43,13	86,26
Ni-Pb	50-25	16,09	33,91	67,82
	50-50	20,97	29,03	58,06
	50-100	24,39	25,61	51,22
Ni-Cr	50-25	10,27	39,73	79,46
	50-50	5,22	44,78	89,56

	50-100	8,28	41,72	83,44
Cr awal	50	5,3	44,7	89,4
Cr-Ni	50-25	6,5	43,5	87
	50-50	8,76	41,24	82,48
	50-100	7,98	42,02	84,04
Cr-Pb	25-50	5,59	44,41	88,82
	50-50	4,83	45,17	90,34
	50-100	3,73	46,27	92,54
Pb awal	50	5,488	44,512	89,024
Pb-Ni	50-25	5,68	44,32	88,64
	50-50	4,65	45,35	90,7
	50-100	6,96	43,04	86,08
Pb-Cr	50-25	3,79	46,21	92,42
	50-50	0,889	49,111	98,222
	50-100	0,555	49,445	98,89

Tabel 4.9 Pengaruh logam campuran terhadap penyerapan ion-ion logam pada sistem tersier Ni²⁺, Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ menggunakan imobilisasi *B.cereus*

Sistem	Konsentrasi awal larutan(mg/l)	Konsentrasi akhir larutan(mg/l)	Konsentrasi ion terserap(mg/l)	% removal
Ni-Pb-Cr	50-50-50	2,4	47,6	95,2
Ni-Pb-Cr	100-50-50	7,35	92,65	92,65
Pb-Ni-Cr	50-50-50	6,5	43,5	87
Pb-Ni-Cr	100-50-50	2,67	97,33	97,33
Cr-Ni-Pb	50-50-50	8,65	41,35	82,7
Cr-Ni-Pb	100-50-50	21,09	78,91	78,91

Tabel 4.10 Pengaruh multi logam terhadap penyerapan ion-ion logam pada sistem biner Ni²⁺, Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ menggunakan imobilisasi *P.putida*

Sistem	Konsentrasi awal larutan (mg/l)	Konsentrasi akhir larutan(mg/l)	Konsentrasi ion terserap(mg/l)	% removal
Ni awal	50	8,743	41,257	82,514
Ni-Pb	50-25	9,295	40,705	81,41
	50-50	8,24	41,76	83,52
	50-100	8,872	41,128	82,256
Ni-Cr	50-25	7,185	42,815	85,63
	50-50	6,382	43,618	87,236

	50-100	8,62	41,38	82,76
Cr awal	50	7,342	42,658	85,316
Cr-Ni	50-25	14,2	35,8	71,6
	50-50	5,3	44,7	89,4
	50-100	25,6	24,4	48,8
Cr-Pb	25-50	9,8	40,2	80,4
	50-50	12,7	37,3	74,6
	50-100	2,7	47,3	94,6
Pb awal	50	7,103	42,897	85,794
Pb-Ni	50-25	7,293	42,707	85,414
	50-50	9,239	40,761	81,522
	50-100	8,671	41,329	82,658
Pb-Cr	50-25	11,103	38,897	77,794
	50-50	14,346	35,654	71,308
	50-100	11,914	38,086	76,172

Tabel 4.11 Pengaruh multi logam terhadap penyerapan ion-ion logam pada sistem tersier Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ menggunakan imobilisasi *P.putida*

Sistem	Konsentrasi awal larutan (mg/l)	Konsentrasi akhir larutan(mg/l)	Konsentrasi ion terserap(mg/l)	% removal
Ni-Pb-Cr	50-50-50	4,99	45,01	90,02
Ni-Pb-Cr	100-50-50	7,83	92,17	92,17
Pb-Ni-Cr	50-50-50	10,941	39,059	78,118
Pb-Ni-Cr	100-50-50	8,6	91,4	91,4
Cr-Ni-Pb	50-50-50	16,35	33,65	67,3
Cr-Ni-Pb	100-50-50	7,47	92,53	92,53

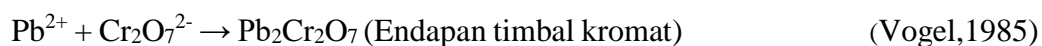
Pada pengaruh sistem campuran larutan logam ini beberapa faktor yang mempengaruhi diantaranya sifat dari larutan yaitu pH, konsentrasi larutan dan elektronegativitas logam (Srivastava,2006). Semakin tinggi nilai elektronegativitas pada suatu logam maka akan mudah untuk berikatan dengan suatu elektron. Elektronegativitas Ni²⁺ , Pb²⁺ dan Cr⁶⁺ yaitu 1,66, 2,33 dan 1,91.

Dari hasil yang diperoleh pada tabel diatas untuk ketiga ion logam pada biosorben imobilisasi *B.cereus* yaitu logam Ni²⁺ mengalami penurunan efisiensi ketika di tambahkan ion logam Pb²⁺, hal ini dikarenakan ion logam Pb²⁺ memiliki elektronegativitas yang tinggi dibanding ion logam Ni²⁺ sehingga mampu menghambat

interaksi antara ion logam Ni^{2+} dengan komponen kimia yang berada pada permukaan biosorben. Beda halnya dengan ion logam Cr^{6+} , mengalami peningkatan efisiensi ketika ditambahkan dengan larutan logam Ni^{2+} .

Sama halnya pada removal ketiga ion logam menggunakan biosorben imobilisasi *P.putida*, pada ion logam Ni ketika di campur dengan ion logam Pb dan Cr mengalami penurunan efisiensi. Begitu pula pada logam Cr ketika di kombinasi dengan ion logam Ni, beda halnya ketika dikombinasikan dengan ion logam Pb mengalami peningkatan efisiensi ketika konsentrasi ion Pb ditingkatkan. Untuk ion logam Pb mengalami penurunan efisiensi ketika dikombinasikan dengan ion logam Ni dan mengalami peningkatan ketika dikombinasikan dengan ion logam Cr.

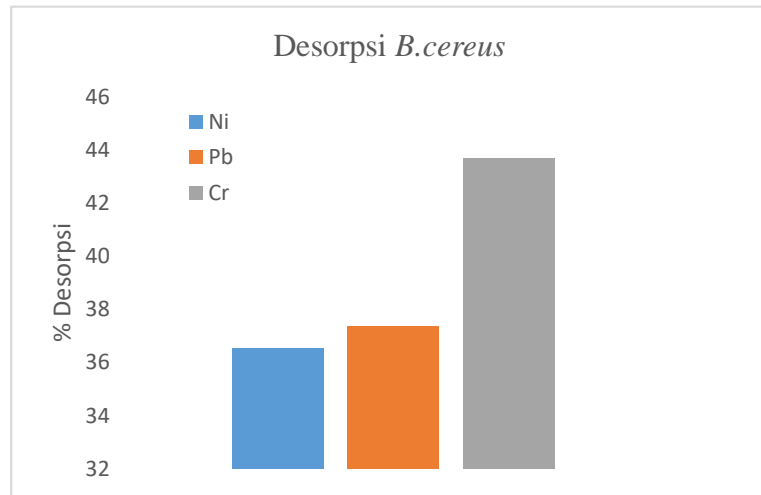
Hal yang terjadi pada larutan campuran logam Pb^{2+} dan logam Cr^{6+} atau sebaliknya Cr^{6+} dan Pb^{2+} keduanya mengalami peningkatan efisiensi removal pada kedua biosorben hal ini disebabkan karena terbentuknya reaksi antara $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditandai dengan terbentuknya endapan berwarna kuning pada larutan saat kedua larutan tersebut dicampurkan. Reaksi yang terbentuk sebagai berikut :



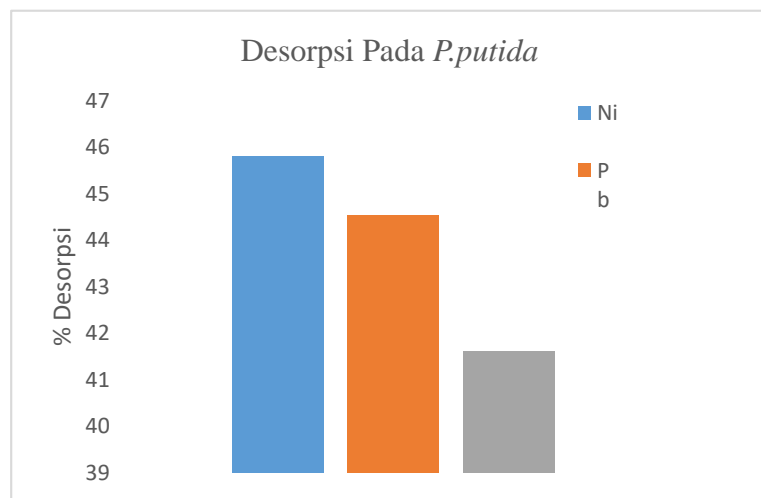
Sehingga kemungkinan terjadi saat kedua larutan direaksikan baik untuk desain eksperimen Cr-Pb dan Pb-Cr kemungkinan konsentrasinya berkurang bukan hanya karena interaksi antara ion logam dengan biosorben melainkan karena terjadinya reaksi antara kedua larutan logam tersebut dengan terbentuknya endapan pada saat penelitian berlangsung.

4.9 Hasil analisa desorpsi

Salah satu keuntungan metode adsorpsi adalah mudah diregenerasi. Regenerasi dapat dilakukan melalui desorpsi sehingga dapat dilakukan recovery logam-logam yang telah diserap oleh biosorben. Desorpsi dapat dilakukan dengan mengontakkan adsorben yang telah digunakan dengan larutan yang dikenal dengan agen desorpsi. Dalam penelitian ini digunakan HCl sebagai agen desorpsi.



(a)



Gambar 4.21 Hasil analisa desorpsi menggunakan HCl 0,1 M pada (a) Biosorben *B.cereus* dan (b) *P.putida*

Dari Gambar 4.21 diperoleh hasil desorpsi untuk biosorben *B.cereus* dan *P.putida*, untuk biosorben *B.cereus*, HCl mampu melepaskan ion Cr sebanyak 43% dan untuk *P.putida* mampu melepaskan 45% ion Ni. Pada proses ini terjadi pertukaran kation antara H^+ dan ion-ion logam yang ada pada permukaan biosorben. Hasil yang diperoleh dari kedua biosorben tersebut kurang dari 50%. Hal ini memungkinkan bahwa proses yang terjadi pada adsorpsi bukan hanya terjadi pada pertukaran ion saja

melainkan terjadi proses-proses yang lain seperti proses penyerapan fisik dan proses kompleksasi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

A. Kesimpulan

1. Kondisi terbaik dari masing-masing biosorben:

a. Biosorben Imobilisasi *B.cereus*

- Ion logam Ni^{2+} terbaik pada kondisi :
pH = 6; waktu terbaik = 60 menit ; Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) = 57,80 mg ion Ni/g adsorben dan mampu meremoval 90,45% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Ni.
- Ion logam Pb^{2+} terbaik pada kondisi :
pH = 5; waktu terbaik = 90 menit, Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) = 46,29 mg ion Pb/adsorben dan mampu meremoval 89,25% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Pb.
- Ion logam Cr^{6+} terbaik pada kondisi :
pH = 4; waktu terbaik = 30 menit, Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) = 52,91 mg Ion Cr/g adsorben dan mampu meremoval 89,69% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Cr.

b. Biosorben Imobilisasi *P.putida*

- Ion logam Ni^{2+} terbaik pada kondisi :
pH = 5; waktu terbaik = 60 menit, Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) = 46,81 mg Ion Ni/g adsorben dan mampu meremoval 75,4% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Ni.
- Ion logam Pb^{2+} terbaik pada kondisi :
pH = 5; waktu terbaik = 60 menit; Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) = 48,07 mg Ion Pb/g adsorben dan mampu meremoval 82,1% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Pb
- Ion logam Cr^{6+} terbaik pada kondisi :
pH = 4 dan waktu terbaik = 60 menit, diperoleh Kapasitas penyerapan maksimum (Q_{maks}) 49,04 mg Ion Cr/g adsorben dan mampu meremoval 76,8% ion logam pada 0,5 gr biosorben/150 mL larutan Cr.

2. Pada logam campuran, logam Pb dapat menghambat efisiensi removal logam Ni^{2+} pada biosorben *B.cereus* dan *P.putida*. Kemudian ketika pencampuran antara logam Pb^{2+} dan Cr^{6+} terjadi reaksi dan terbentuk endapan timbal kromat (kuning keruh). Sehingga kemungkinan efisiensi removal yang semakin tinggi karena pengurangan konsentrasi antara campuran Pb^{2+} dan Cr^{6+} atau sebaliknya terjadi karena terbentuknya reaksi dan penyerapan oleh kedua biosorben.

3. Model Isoterm adsorpsi

- Proses penyerapan ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} mengikuti persamaan Langmuir dengan harga koefisien regresi R^2 masing-masing ion $>0,95$. Berdasarkan nilai Karakteristik untuk mengindikasikan isoterm Langmuir (R_L) diperoleh nilai $0 < R_L < 1$ maka dapat dinyatakan bahwa model ini “*favourable*” pada kedua biosorben tersebut.
- Kinetika ion logam Ni^{2+} , Pb^{2+} dan Cr^{6+} mengikuti *pseudo second order* berlangsung lebih cepat karena adanya ikatan kimia antara adsorben dan ion logam.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor-faktor lain yang berpengaruh dalam peningkatan kapasitas penyerapan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui perbedaan penggunaan media pendukung yang berbeda untuk peningkatan kapasitas penyerapan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memodifikasi biosorben untuk diperoleh hasil yang lebih baik.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada larutan logam yang lain.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk proses desorpsi dengan menggunakan reagen kimia yang tidak berbahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S. H., Ismail, I. M., Mostafa, T. M. dan Sulaymon, A. H. 2014. "Biosorption of Heavy Metals" : A Review. 3. 74–102.
- A. Selatnia., A.Madani,M.Z., Bakhti,L.Kertous., Y.Mansouri.,R.Yous.2004."Biosorption of Ni²⁺ from aqueous Solution by a NaOH-treated Bacterial Dead *Streptomyces rimosus* Biomass".Mineral Engineering.Vol 17.903-911.
- Al-fakih, Abdulkawi Ali. 2015. "Biosorption of Ni²⁺ and Cd²⁺ from Aqueous Solutions Using NaOH-Treated Biomass of *Eupenicillium Ludwigii*: Equilibrium and Mechanistic Studies." *Open Journal of Applied Sciences* 5 (July): 376–92.
- Albert,RA dan Silbey RJ.1991. "Physical Chemistry ed ke-1". John Wiley. New York.
- Animesh Naskar dan Debabrata Bera.2017."Mechanistic Exploration of Ni(II) Removal by Immobilized Bacterial Biomass and Interactive Influence of Coexisting Surfactants". (Environmental Progress and Sustainable Energy) Vol 37.1-12.
- Asma Saeeda., Muhammed Iqbal., M. Waheed Akhtar. 2004. "Removal and recovery of lead(II) from single and multimetal (Cd, Cu,Ni, Zn) solutions by crop milling waste (black gram husk)". *Journal of Hazardous Materials B*117 65–73.
- Atkins,PW.1999. Kimia Fisika jilid 2 edisi ke-4. Erlangga. Jakarta
- Baik, W. Y.; Bae, J.H.; Cho, K.M.Hartmeier, W. 2002. "Biosorption of heavy metals using whole mold mycelia ". *Bioresource Technology*, Vol. 81,No. 3, p. 167-170.
- Barquilha, C. E.R., E. S. Cossich, C. R.G. Tavares, dan E. A. Silva. 2017. "Biosorption of nickel(II) and copper(II) Ions in Batch and Fixed-Bed Columns by Free and Immobilized *Marine Algae Sargassum sp.*" *Journal of Cleaner Production* 150. Elsevier Ltd: 58–64
- Barton, Larry L, dan Larry L Barton. 2005. "Structural and Functional Relationships in Prokaryotes. " <https://doi.org/10.1007/b138652>.
- Bayramoglu, Gulay, M. Yakup Arica, dan Nezaket Adiguzel. 2012. "Removal of Ni(II) and Cu(II) Ions Using Native and Acid Treated *Ni-Hyperaccumulator Plant Alyssum* Discolor from Turkish Serpentine Soil." *Chemosphere* 89 (3). Elsevier Ltd: 302–9.
- Brady, D., dan Duncan, J.R. 1994. "Binding of heavy metals by the cell walls of *Saccharomyces cerevisiae*." *Enzyme Microb. Technol.* 16: 633-638.
- Bryan,G.W.1976. Heavy Metals Contamination in The Sea, in : Johnston.J.(ed) Marine Pollution Academic Press,London : P.185-302.

- Cayllahua, J. E. B.; Carvalho, R. J.; Torem, M. L. (2009). "Evaluation of equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters for biosorption of nickel (II) ions onto bacteria strain. *Rhodococcus opacus*". *Miner. Eng.*, 22: 1318–1325
- C. Huang dan C.P. Huang, 1996. "Application of *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oryzae* for Cu (II) removal". *Wat. Res.*, vol. 30.1985-1990.
- Dahuri, R. 2005. "Akar Permasalahan Teluk Jakarta dan Strategi Penanggulangannya. Proseding diskusi panel, penanganan dan pengelolaan pencemaran wilayah pesisir Teluk Jakarta dan Kepulauan Seribu. " Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB. Bogor.
- Fardiaz, Srikdani. 1992. "Polusi Air dan Udara." Yogyakarta: Kanisius.
- FAO. 2009. "Production, properties, and use of alginate." <http://www.fao.org/docrep/X5822E/x5822e04> .
- Freundlich, H., 1926. "Colloid and Capillary Chemistry". Methuen, London, U.K.
- Gadd, G.M. 1990. "Metal Tolerance, In *Mycrobiology of Extreme Environments*". Edwards C., Open University Press, Milton Keynes: 178-210.
- Gadd, G., 2002, "Bioremedial Pontential of Microbial Mechanism of Metal Mobilization and Immobilization." *Current Opinion in Biotechnology* 11, 271-279.
- Hancock, J.C..1996. "Bioremediation of Heavy Metal Pollution an in Biotreatment of Industrial Waste, In *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation.*" IUC Biotechnology, Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18-20, 1996.
- Harris,R.O.dan Ramelow,G.J,1990. "Binding of Metal Ions by Particulate Biomass Derivate From *Chlorella Vulgaris* and *Scenedesmu quardricauda*," *Environ.Sci.Tech.*24,220-227
- Hassan Rezaei.2013."Biosorption of Chromium by Using *Spirulina sp.*Arabian Journal of Chemistry".Vol 9. 846-853.
- Hughes, M.N., dan Poole, R.K., 1990. "Metals and Microorganism."Chapman and Hall, London
- Ho, Y.S., McKay, G., 1999. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process. Biochem.* 34, 451–465
- Ibrahim Abdelfattah.,Adel A. Ismail., Fathy Al Sayed., Ali Almedolab.2016. "Biosorption of Heavy Metals ions in Real Industrial Wastewater Using Peanut Husk as Efficient and cost Effective Adsorbent". *Enviromental Nanotechnology.*Vol 6.176-183.
- Ilana Aldor, 2000, Desorpstin of Cadmium from Algal Biosorbent. Iller, R.K., 1979, *The Chemistry of Silica.* New York.: Jhon Wiley and Sons.

- Kapoor, A., dan Viraraghavan, T. 1995. "Heavy metal biosorption sites in *Aspergillus niger*." *Bioresource Technology*. Vol. 61. No.3, p. 221-227
- KEPMEN LH. No. 51. 2004. Tentang Penetapan Baku Mutu Air Laut.
- Lagergren, S., Svenska, B.K., 1898. "Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe". *Vetenskapsakad. Hdanl.* 24, 1–39.
- Langmuir, I., 1918. "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum". *J. Am. Chem. Soc.* 40, 1361–1403
- Lata Ramrakhiani., Avik Halder., Abhradeep Majumder., Ashis K. Mdanal., Swachchha Majumdar., Sourja Ghosh. 2017. Industrial waste derived biosorbent for toxic metal remediation: Mechanism studies and spent biosorbent management. *Chemical Engineering Journal* . Vol 308.1048–1064
- Lu FC. 1995. *Toksikologi Dasar*. Jakarta: UI-Press.
- Mahmoud, M.S., dan Samah A. Mohamed. 2015. "Calcium Alginate as an Eco-Friendly Supporting Material for Baker's Yeast Strain in Chromium Bioremediation." *HBRC Journal* 13 (3). Housing dan Building National Research Center: 245–54.
- Martins, B.L., Cruz C.V., Luna, A.S., dan Henriques, C.A. 2006. "A Sorption and desorption of Pb^{2+} ions by dead *Sargassum sp.* Biomass." *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 27, No. 3, p. 310-314.
- Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. 1990. Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : Kep 02/MenKLH/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Sekretariat Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Mohammed M.Gharieb., Abdulkawi A. Al-Fakih. 2012. "Biosorption of Pb(II) and Co(II) Ions from Aqueous Solutions Using Pretreated *Rhizopus oryzae*". *Arab J Sci Eng.* Vol 39. 2435-2446.
- Oscik, J., 1982, *Adsorption*, Ellis Horwood Limited, England.
- Park, D.; Yun, Y. S.; Ahn, C. K.; Park, J. M. 2007. "Kinetics of the Reduction of Hexavalent Chromium with the Brown Seaweed *Ecklonia* Biomass". *Chemosphere.* 66, 939.
- Raffar, Nur Izzati Abdul, Nadhratul Nur Ain Abdul Rahman, Rasyidah Alrozi, Faraziehan Senusi, dan Siu Hua Chang. 2015. "Potential Immobilized *Saccharomyces Cerevisiae* as Heavy Metal Removal." *AIP Conference Proceedings* 1660.
- Ratnawati, Emmy, dan Rahyani Ermawati. n.d. 2010. "Teknologi Biosorpsi Oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif Untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat" 32 (1): 34–40.
- Ren, Guangming, Yu Jin, Chunmiao Zhang, Haidong Gu, dan Juanjuan Qu. 2015.

- “Characteristics of Bacillus Sp. PZ-1 and Its Biosorption to Pb(II).” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 117. Elsevier: 141–48.
- Roew, Raymond. 2009. “Adipic Acid. Handbook of Pharmaceutical Excipients.” Hal. 11–12.
- Salimin dan zainus.2013. “Proses Regenerasi Extracellular Polymeric Substance Terimobilisasi Pada Kalsium Alginat. Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia V,” no. April: 239–49.
- Syam K. Prabhakaran,K. Vijayaraghavan,dan R. Balasubramanian. 2009. "Removal of Cr(VI) Ions by Spent Tea and Coffee Dusts: Reduction to Cr(III) and Biosorption." *Ind. Eng. Chem. Vol 48.* 2113–2117.
- Sanusi, H.S. 1985. “Akumulasi Logam Berat Hg dan Cd) pada Tubuh Ikan Bandeng (*chanos chanos orskal*) [Disertasi].” Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor.
- Saparinto, Cahyo dan Hidayati, Diana. 2006. “Bahan Tambahan Pangan.” Yogyakarta: Kanisius.
- Saroj S. Baral.,Surendra N.,Dasa.,Pradip Rath.2006. "Hexavalent chromium removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust". *Biochemical Engineering Journal.* Vol 31.216–222.
- Sinly, E.P., dan Johan, A.P. 2007. “Bioremoval, Metode Alternatif untuk Menanggulangi Pencemaran Logam Berat.” *Artikel*, Universitas Lampung.
- Tokura, S. dan Nishi, N., 1995. “Specification and Characterization of Kitin and Kitosan.” pp. 67 – 78. *Collection of Working Papers 28.* Univesiti Kebangsaan.
- Treyball,R.E.1981. "Mass Transfer Operation",3rd ed. McGraw-Hill Book Company
- Tunali, S., Çabuk, A. dan Akar, T. (2006) Removal of Lead and Copper Ions from Soil. *Chemical Engineering Journal.*Vol 115, 203-211.
- Vahid Javanbakht, Seyed Amir Alavi dan Hamid Zilouei.2014. "Mechanisms of Heavy Metal Removal Using Microorganisms" *WST.*Vol 69.1775-1787.
- Vijayaraghavan, K. dan Yeoung-Sang Yun.2008. “Bacterial Biosorbents and Biosorption, *Biotechnology Advances.*” 26: 266-291.
- Volesky, B dan Holan, Z. R. 1995. Biosorption of Heavy Metals. *Biotechnol. Prog.* 11, 235-250
- Widjaja, T. 2008. “Pengaruh Konsentrasi Ca-Alginate pada Produksi Etanol dari Tetes Menggunakan *Zymomonas mobilis* dan *Saccharomyces cerevisiae* dengan teknik Immobilisasi Sel.” Dalam Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia Diselenggarakan oleh jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Surabaya.

- Widodo, A., Mardiah, dan Prasetyo, A., 2003. "Potensi Kitosan dari Sisa Udang sebagai Koagulan Logam Berat Limbah Cair Industri." Jurnal Jurusan Teknik Kimia ITS
- Wuldanari, Wanti. 2007. "Studi awal Pemanfaatan Alga Hijau dan Karakterisasinya Sebagai Biosorben Ion logam Cd^{2+} , Zn^{2+} dan Cr^{2+} ." FMIPA Universitas Indonesia.
- Zimmermann, M., dan Wolf, K. 2002. "Biosorption of Metals". *The mycota, Industrial Application*. Vol.10: 355-364.
- Zubayr. 2009 "Analisis Status Pencemaran Logam Berat." IPB. Bogor.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
C_i	Konsentrasi awal	mg/l
C_f	Konsentrasi sisa di larutan	mg/l
C_d	Konsentrasi yang diserap	Mg/l
K_L	Konstanta Langmuir	l/mg
K_F	Konstanta Freundlich	l/mg
k_1	Laju reaksi pseudo first order	1/s
k_2	Laju reaksi pseudo second order	1/s
m	Massa biosorben	v
n	Konstanta empiris	-
q	Kapasitas penyerapan	mg/g
q_t	Kapasitas penyerapan setiap waktu	mg/g
q_e	Kapasitas penyerapan pada keadaan equilibrium	mg/g
Q_{max}	Kapasitas penyerapan maksimum	mg/g
R_L	Parameter kesetimbangan Langmuir	-
v	Volume	mL

APPENDIKS A

CONTOH PERHITUNGAN

A.1. Contoh perhitungan Titrasi

Contoh perhitungan menggunakan data ion logam Ni^{2+} pada pengaruh pH, dengan menggunakan rumus

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

Konsentrasi titran EDTA = 0,00865 M

Volume titran = 2,55 mL

Volume larutan logam = 25 ml

Maka persamaan diatas menjadi :

$$0,00865 \times 2,55 = 25 \times M_2$$

$$M_2 = 0,000441 \text{ M} = 25,5882 \text{ ppm}$$

A.2. Contoh perhitungan pengolahan data

C_i = Konsentrasi awal larutan sebelum dikontakan biosorben (mg/l)

C_e = Konsentrasi larutan setelah dikontakan ion logam (mg/l)

C_d = Konsentrasi ion logam yang terserap oleh biosorben (mg/l)

Maka untuk menghitung C_d menggunakan persamaan berikut :

$$C_d = C_i - C_e$$

Contoh perhitungan menggunakan data ion logam Ni^{2+} pada pH 6 :

$$C_d = 35,1211 - 11,0381 = 24,083 \text{ mg/L}$$

Contoh kapasitas penyerapan (q_e) menggunakan persamaan

$$q = \frac{C_d \times V}{m}$$

Dimana V = Volume larutan (L) dan m = massa biosorben (mg/g)

Sehingga :

$$q = \frac{24,083 \times 0,15}{0,15} = 24,083 \text{ mg/g}$$

Contoh efisiensi penyerapan (% Removal) menggunakan persamaan :

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_d}{C_i} \times 100\%$$

$$\% \text{ Removal} = \frac{24,083}{35,1211} \times 100\% = 68,571\%$$

Contoh perhitungan Isotherm Model Langmuir dan Freundlich menggunakan data ion logam Ni^{2+} pada konsentrasi awal larutan 50 mg/l

$$C_i = 50 \text{ mg/l}$$

$$C_e = 26 \text{ mg/l}$$

$$C_b = 24 \text{ mg/l}$$

Model Langmuir

$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} K_L} + C_e \quad (2)$$

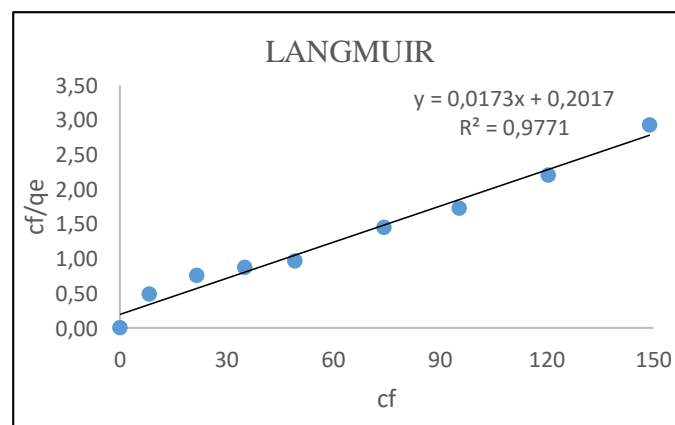
Dari persamaan 2 diatas $\frac{1}{q_{\max} K_L}$ merupakan intercept dan $\frac{1}{q_{\max}}$ merupakan slope

Sehingga jika diplot pada grafik $\frac{C_e}{q_e}$ vs C_e

$$q_e = \frac{24 \times 0,15}{0,15} = 24 \text{ mg/g}$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{26}{24} = 1,0833$$

Hasil untuk data yang lain dapat dilihat pada Tabel C.5. Dari data tersebut dibuat garis lurus sehingga diperoleh grafik berikut :



Grafik A.1 Model Langmuir untuk ion logam Ni^{2+}

Dari grafik A.1, diperoleh persamaan linier :

$$y = 0,0173x + 0,2017, R^2 = 0,9771$$

Dari persamaan diatas diperoleh

$$\text{Slope} = 0,173x$$

$$\text{Intercept} = 0,2017$$

$$q_{max} = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{0,173} = 57,8034 \text{ mg/g}$$

$$K_L = \frac{1}{q_{max} \times \text{intercept}} = \frac{1}{57,8034 * 0,2017} = 0,0857 \text{ l/mg}$$

$$R_L = \frac{1}{1 + (K_L \times C_i)} = \frac{1}{1 + (0,0857 * 50)} = 0,1885 \text{ l/mg}$$

Model Freundlich

$$q_e = KC_e^{1/n}$$

Jika dilinierkan menjadi :

$$\ln q_e = \ln K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e$$

dengan :

$$\left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e = \text{slope}$$

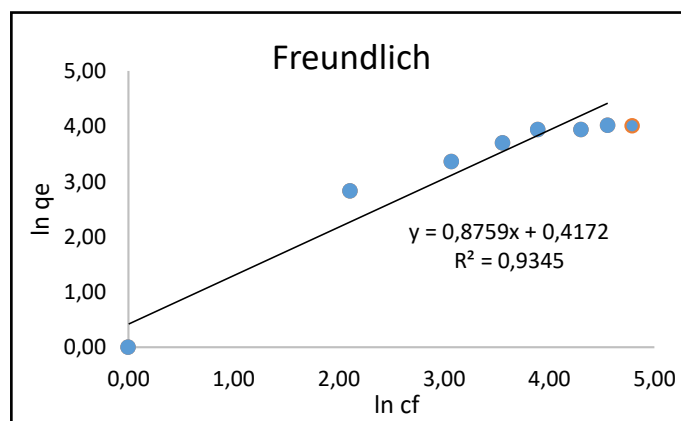
$$\ln K_F = \text{intercept}$$

Sehingga untuk memperoleh nilai Kf dan n, dengan plot $\ln q_e$ Vs C_e

$$\ln q = \ln 24 = 3,1781$$

$$\ln C_e = \ln 26 = 3,2581$$

Hasil untuk data yang lain dapat dilihat pada Tabel C.5. Dari data tersebut dibuat garis lurus sehingga diperoleh grafik berikut :



Grafik A.2 Model Freundlich untuk ion logam Ni²⁺

Dari grafik A.2 diatas, diperoleh persamaan :

$$y = 0,8759x + 0,4172, R^2 = 0,9345$$

diperoleh;

$$\text{slope} = 0,8759x$$

$$\text{intercept} = 0,4172$$

$$K_F = \exp(0,4172) = 1,5177$$

$$n = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{0,8759} = 1,14$$

Contoh perhitungan Model kinetika *Pseudo First order* dan *Pseudo second order* menggunakan data ion logam Ni²⁺ pada menit ke 60

$$C_i = 35,1211 \text{ mg/l}$$

$$C_e = 20,0692 \text{ mg/l}$$

$$C_d = 15,0519 \text{ mg/l}$$

$$q_t = 15,0519 \text{ mg/g (} q_t = \text{ kapasitas penyerapan tiap waktu)}$$

Pseudo first order

$$\log(q_{e\text{eks}} - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1 t}{2,303}$$

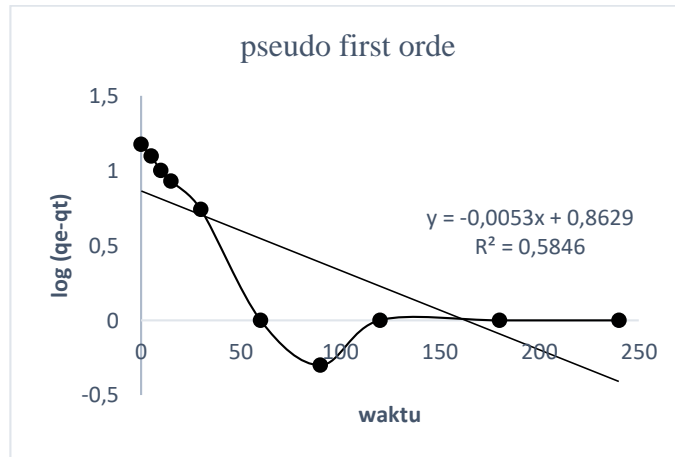
$$\text{Slope} = \frac{-k_1}{2,303}$$

$$\text{Intercept} = \log(q_e)$$

Dimana q_e eksperimen merupakan kapasitas penyerapan pada saat mencapai kesetimbangan pada menit ke 60 yaitu 15,0519 mg/g, maka :

$$\log(q_e - q_t) = \log(15,0519 - 15,0519) = 0$$

Hasil untuk data yang lain dapat dilihat pada Tabel C.6. Dari data tersebut dibuat garis lurus sehingga diperoleh grafik berikut :



Grafik A.3 Pseudo first order untuk ion logam Ni²⁺

Diperoleh persamaan :

$$y = -0,0053x + 0,8629, R^2 = 0,5846$$

Slope = -0,0053x

Intercept = 0,8629

$k_1 = 0,0127$

$q_e = 10^{0,8629} = 7,2929 \text{ mg/g}$

Model pseudo second order

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

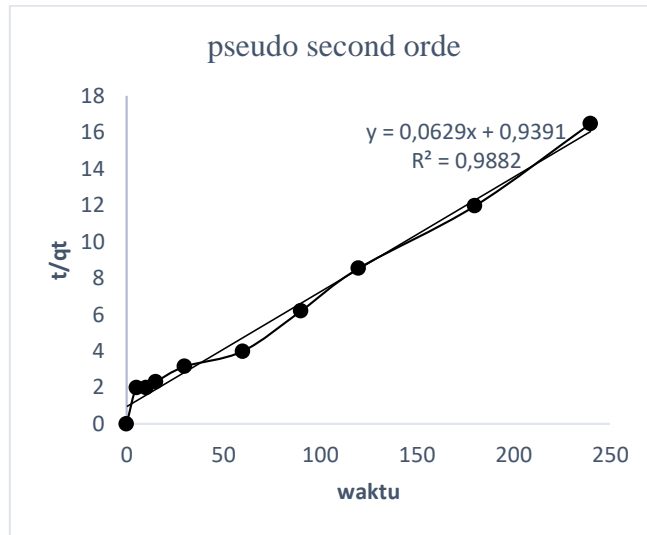
Slope = $\frac{1}{q_e}$

Intercept = $\frac{1}{k_2 q_e^2}$

$$\frac{t}{qt} = \frac{60}{15,0519} = 3,986$$

Hasil untuk data yang lain dapat dilihat pada Tabel C.6. Dari data tersebut dibuat garis lurus sehingga diperoleh grafik berikut :

Maka dengan di plot $\frac{t}{qt}$ vs t diperoleh hasil pada Grafik A.4



Grafik A.4 Pseudo second order untuk ion logam Ni²⁺

Slope = 0,0629x

Intercept = 0,9391

Slope = $\frac{1}{q_e}$

$q_e = \frac{1}{slope} = \frac{1}{0,0629} = 15,898 \text{ mg/g}$

$k_2 = \frac{1}{intercept \times q_e^2} = \frac{1}{0,9391 \times 15,898^2} = 0,00421$

Tabel A.1 Perbandingan perhitungan Pseudo First order dan Pseudo Second order

q exp (mg/g)	Pseudo First order			Pseudo Second order		
	y = -0,0053x + 0,8629			y = 0,0629x + 0,9391		
15,05	q _{e1} (mg/g)	k ₁	R ²	q _{e2}	k ₂	R ²
	7,2929	0,0127	0,5846	15,898	0,00421	0,9882

LAMPIRAN



**Media sebelum dan sesudah di
inokulasikan bakteri**



**Bakteri sebelum dan sesudah di
sentrifugasi**



**Imobilisasi *Bacillus cereus* dan
alginate**



**Setelah di teteskan pada
 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**



Hasil immobilisasi dikeringkan



Proses pengontakkan biosorben dan larutan logam sintetis



Perubahan warna ungu menjadi biru pada ion logam Pb^{2+}



Perubahan warna kuning menjadi ungu pada ion logam Ni^{2+}



B.cereus setelah dikontakkan ion logam Pb²⁺



B.cereus setelah dikontakkan ion logam Ni²⁺



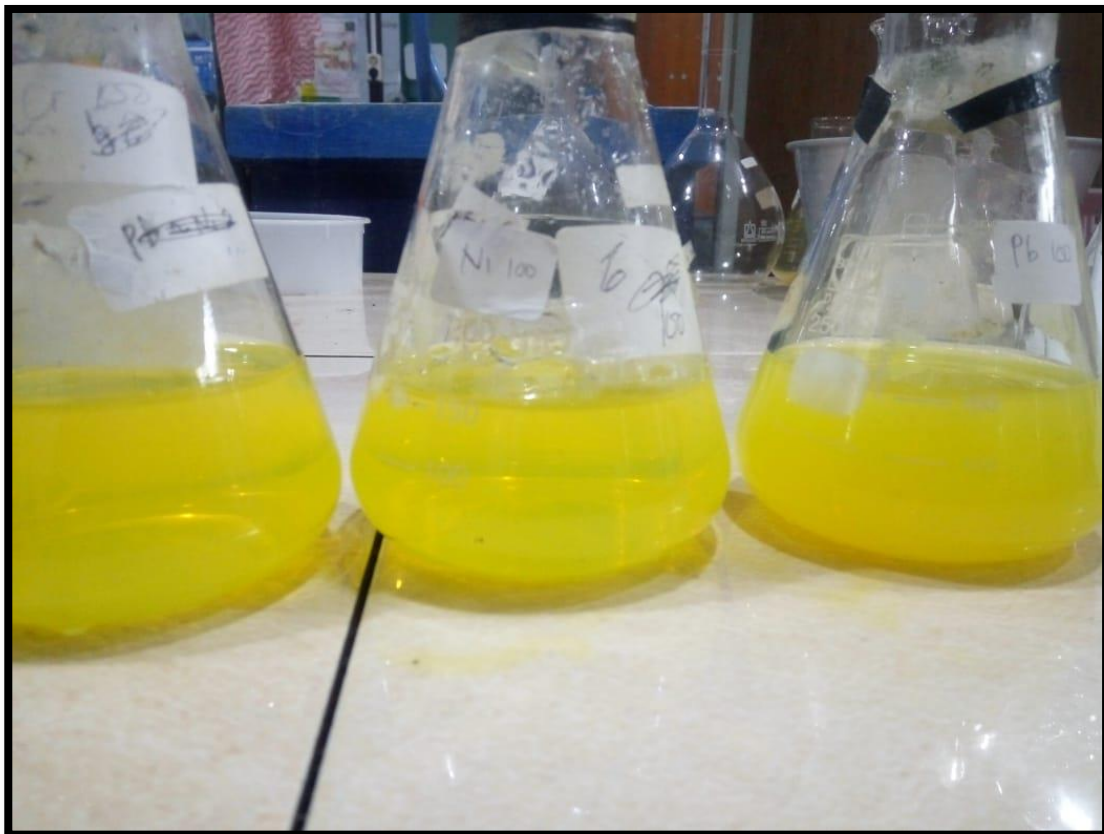
B.cereus setelah dikontakkan ion logam Cr⁶⁺



Proses immobilisasi



Biosorben Imobilisasi *P.putida* Sebelum dan sesudah dikontakkan ion-ion logam



Campuran Logam Cr-Pb



Campuran Ni-Cr



Endapan Cr-Pb

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Samarinda pada tanggal 03 Desember 1993. Anak ketiga dari empat bersaudara. Mengawali pendidikan dasarnya di SDN 020 Samarinda. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTs Normal Islam Samarinda. Setelah berhasil menyelesaikan pendidikan menengah pertama, melanjutkan pendidikan menengah atas di MAN 2 Samarinda, Selepas masa SMA, penulis melanjutkan pendidikan sarjana pada tahun 2012 di Institut Teknologi Kalimantan jurusan Teknik Kimia. Telah menyelesaikan S-1 di jurusan Teknik Kimia ITK pada tahun 2016 dengan menyelesaikan tugas akhir pra-desain pabrik yang berjudul “Pra desain Pabrik Asam Nitrat” dan Skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Sebagai Penghasil Listrik dengan Menggunakan Metode MFC (*Microbial Fuel Cell*). Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan Master di jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016. Ketertarikan penulis mengenai masalah lingkungan yang menjadi permasalahan utama, mendorong penulis untuk menentukan Laboratorium Pengolahan Limbah Industri sebagai Laboratorium untuk melakukan penelitian yang dapat memberikan dampak positif terhadap penyelesaian permasalahan lingkungan. Penelitian yang dilakukan penulis bertemakan “Bioremoval Logam Berat dari Larutan Logam Sintetis dengan Menggunakan biomassa *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas putida* sebagai adsorben”.