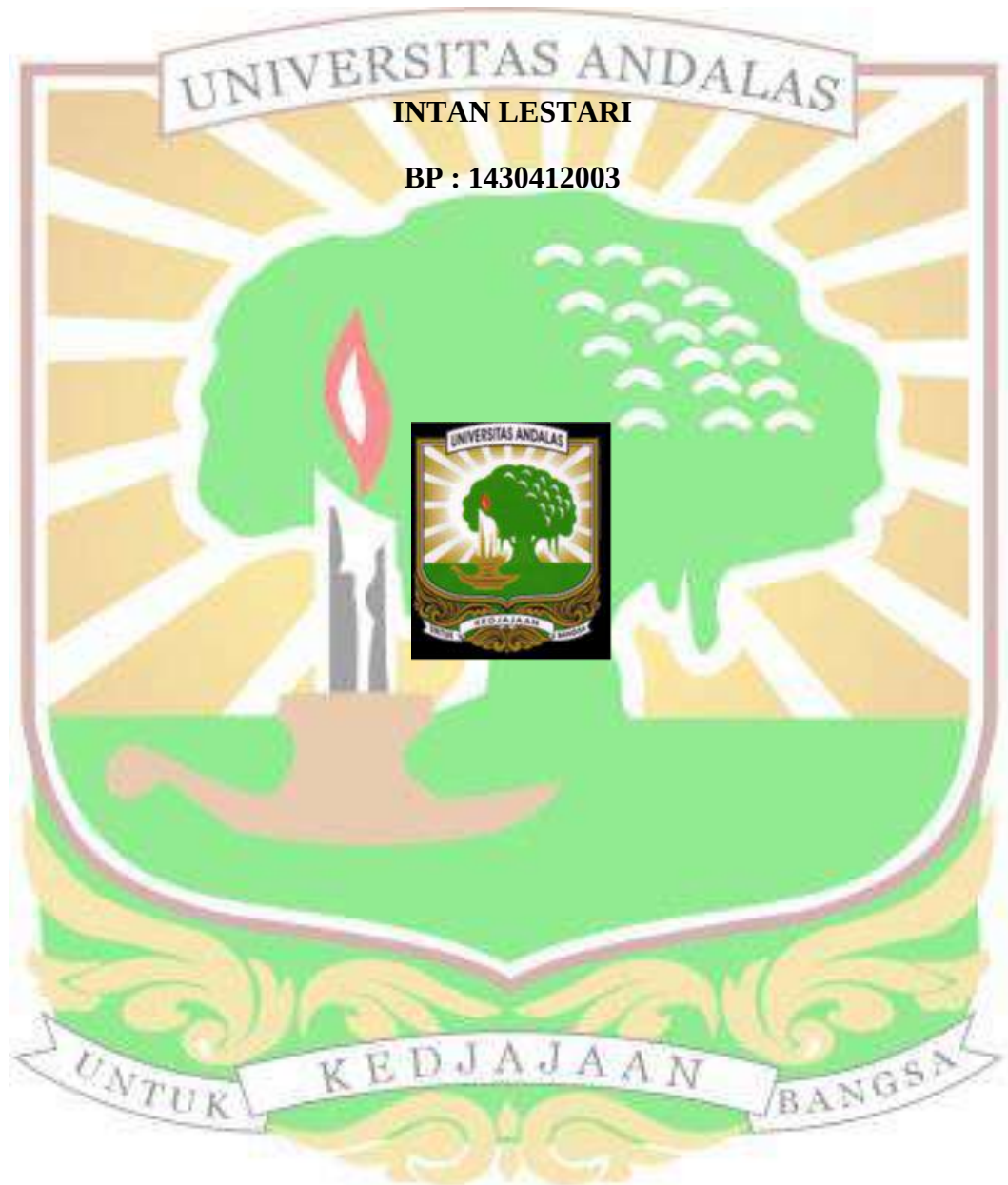


**STUDI KINETIKA DAN ISOTERM ADSORBSI ION-ION Pb(II), Cd(II)
DAN Zn(II) PADA BIOSORBEN BIJI DURIAN (*Durio zibethinus*) NON
AMOBILISASI DAN TERAMOBILISASI DALAM Ca- ALGINAT.**

DISERTASI



INTAN LESTARI

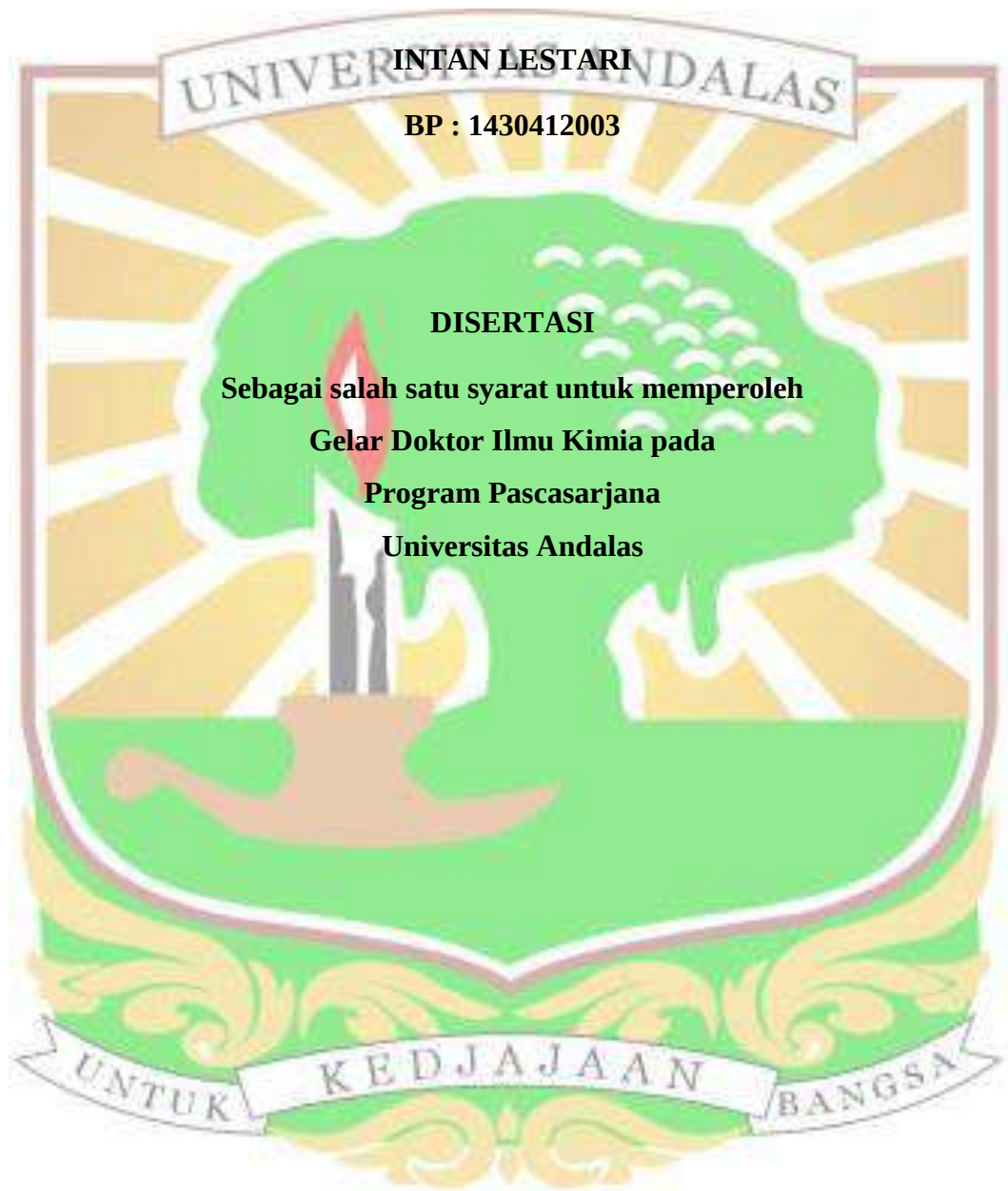
BP : 1430412003

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ANDALAS

2017

**STUDI KINETIKA DAN ISOTERM ADSORBSI ION-ION Pb(II), Cd(II)
DAN Zn(II) PADA BIOSORBEN BIJI DURIAN (*Durio zibethinus*) NON
AMOBILISASI DAN TERAMOBILISASI DALAM Ca- ALGINAT.**



PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ANDALAS

2017

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian : Studi Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Ion-ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) Pada Biosorben Biji Durian (*Durio zibethinus*) Non Amobilisasi dan Teramobilisasi Dalam Ca-Alginat.

Nama Mahasiswa : INTAN LESTARI

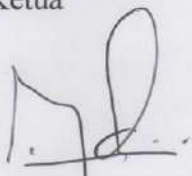
Nomor BP : 1430412003

Program Studi : S3 Ilmu Kimia

Disertasi ini telah diuji dan dipertahankan dihadapan panitia ujian akhir Doktor pada Program Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas dan dinyatakan lulus pada tanggal 6 Juni 2017.

Menyetujui :
Komisi Pembimbing

Ketua



Prof. Dr. Hermansyah Aziz
NIP.195301261979031002

Anggota I



Prof. Dr. Rahmiana Zein
NIP.195612251986032001

Anggota II



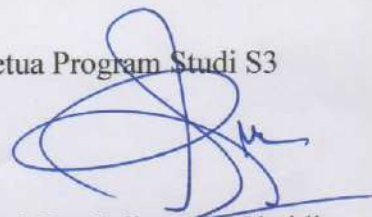
Prof. Dr. Admin Alif
NIP.195408081980031005

Ketua Jurusan Kimia



Dr. Afrizal, MS
NIP.196002091987031004

Ketua Program Studi S3



Prof. Dr. Zulkarnain Chaidir
NIP.195311111984031002



Prof. Dr. Mansyurdin
NIP.196002131987031005

STUDI KINETIKA DAN ISOTERM ADSORBSI ION-ION Pb(II), Cd(II) DAN Zn(II) PADA BIOSORBEN BIJI DURIAN (*Durio zibethinus*) NON AMOBILISASI DAN TERAMOBILISASI DALAM Ca-ALGINAT.

RINGKASAN

Meningkatnya aktifitas industri menyebabkan bertambahnya pencemaran lingkungan dan kerusakan beberapa ekosistem dengan adanya polutan seperti logam berat dan senyawa sintetik. Pertumbuhan industri memberikan perhatian khusus terhadap kesehatan manusia dan ekosistem terutama potensial bahaya yang ditimbulkan oleh logam berat ke lingkungan.

Kontaminasi logam berat perairan meningkat dengan adanya pembuangan limbah yang mengandung logam berat ke badan perairan. Hal ini menjadi perhatian besar karena logam berat tidak dapat terdegradasi di lingkungan dan dapat membahayakan beberapa spesies hidup di perairan. Logam berat seperti ion-ion Pb(II) dan Cd(II) dapat menimbulkan efek toksik pada manusia, hewan dan tanaman lainnya di lingkungan bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah dimana logam berat terakumulasi melalui rantai makanan sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia, sedangkan ion logam Zn(II) walaupun termasuk kedalam logam esensial tapi jika masuk kedalam tubuh dalam jumlah berlebihan dapat mengakibatkan keracunan.

Biosorpsi dengan menggunakan limbah pertanian memiliki kemampuan sebagai biosorben logam berat karena memiliki gugus aktif dalam biomaterial tersebut. Gugus-gugus tersebut diantaranya adalah gugus hidroksil, sulfohidril, amino pada kitin, gugus fosfat pada asam nukleat, sulfohidril dan karboksil pada protein. Gugus-gugus inilah yang akan menarik dan mengikat ion logam pada biosorben baik terjadinya pembentukan kompleks *chelate* atau pertukaran ion.

Biji (*Durio zibethinus*) terdiri dari holoselulosa (60,5%), selulosa (26,4%), hemiselulosa (13,1%). Karakteristik ini membuat biji durian dapat digunakan sebagai biosorben untuk ion logam berat. Beberapa penelitian melaporkan tentang kemampuan biji durian sebagai adsorben dalam bentuk karbon aktif, penyerapan zat warna metil merah dan zat warna metil orange.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan biji durian sebagai biosorben logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dan mempelajari perbandingan kapasitas penyerapan serbuk biji durian (SBD)-non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginate untuk penyerapan ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Keuntungan biomaterial teramobilisasi kedalam Ca-alginate adalah dapat meningkatkan performance biosorben pada proses penyerapan secara dinamis, meningkatkan kekuatan mekanik, rigiditas, ukuran dan karakteristik porositas, meningkatkan kapasitas penyerapan, memudahkan pemisahan biosorben dari larutan, dapat diregenerasi tanpa merusak struktur biosorben serta dapat digunakan secara berulang-ulang (regenerasi).

Dalam penelitian ini dipelajari kinetika, mekanisme serta isotherm adsorpsi pada biosorben biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginate. Kinetika adsorpsi dibutuhkan untuk menentukan tahap pengontrol kecepatan adsorpsi pada proses perpindahan massa adsorbat dalam fasa cair ke

fasa padat. Kecepatan keseluruhan adsorpsi pada adsorben dapat dijelaskan melalui tiga tahapan mekanisme yaitu perpindahan massa luar solute dari larutan bulk melalui bidang batas ke permukaan adsorben (*film diffusion*) yang umumnya diidentifikasi sebagai resisten perpindahan massa luar, *diffusion solute* melalui padatan adsorben (difusi antar partikel) dan perpindahan massa antar partikel (volume pori) atau difusi permukaan. Mekanisme adsorpsi digunakan untuk melihat apakah proses adsorpsi terjadi secara pertukaran ion, presipitasi atau pembentukan kompleks antara gugus fungsi dengan ion logam. Data percobaan di analisis dengan menggunakan isotherm adsorpsi model Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) dan Temkin untuk menentukan proses adsorpsi berlangsung secara fisika atau kimia. Interaksi antara biosorben dengan ion logam di karakterisasi dan di analisis menggunakan FTIR untuk melihat gugus fungsi yang terdapat pada biosorben, morfologi permukaan biosorben dan unsur di analisis dengan SEM-EDX dan komposisi unsur logam dan oksida logam di analisis dengan XRF.

Penelitian dilakukan dengan mempelajari kondisi optimal parameter adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) meliputi pH, waktu kontak, konsentrasi larutan serta suhu larutan pada biosorben biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginate, menentukan kinetika dan isotherm adsorpsi yang sesuai serta menentukan factor parameter termodinamika yang mempengaruhi dalam proses biosorpsi meliputi perubahan entalpi (ΔH), perubahan energy bebas Gibbs (ΔG) serta perubahan entropi (ΔS), mengkarakterisasi gugus fungsi biosorben non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginat dengan instrumen FT-IR, menentukan morfologi permukaan dan komposisi unsur yang terdapat dalam biosorben dengan SEM-EDX dan menentukan komposisi unsur dan oksida logam dengan instrumen XRF. Sedangkan konsentrasi ion logam yang tersisa dalam larutan setelah penyerapan di analisis dengan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

Penelitian awal dilakukan dengan pretreatmen sampel serbuk biji durian dalam asam HNO_3 0,1M, kemudian diamobilisasikan kedalam larutan Ca-alginat sehingga dihasilkan bead. Bead yang terbentuk digunakan untuk penyerapan ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Kapasitas penyerapan masing-masing biosorben dihitung dan dianalisis untuk menentukan kinetika, mekanisme, isotherm serta faktor parameter termodinamika biosorpsi.

Dari hasil penelitian amobilisasi biji durian kedalam Ca-alginat diperoleh biosorben teramobilisasi berbentuk bead dengan ukuran 1 mm. Pada parameter pH optimum penyerapan untuk masing-masing biosorben amobilisasi dan non amobilisasi untuk penyerapan ion Pb(II) diperoleh pada pH 4, untuk penyerapan ion Cd(II) diperoleh pada pH 5 serta untuk penyerapan Zn(II) diperoleh pH 5 dan 6.

Pada penentuan waktu kontak optimum untuk masing-masing biosorben SBD-amobilisasi dan non amobilisasi untuk penyerapan ion Pb(II) diperoleh pada waktu 120 dan 75 menit. Untuk penyerapan ion Cd(II) diperoleh pada waktu 60 dan 45 menit, sedangkan untuk penyerapan ion Zn(II) diperoleh pada waktu 120 dan 60 menit.

Data variasi waktu kontak dipelajari kinetika adsorpsi dengan menggunakan persamaan kinetika adsorpsi Pseudo first-order, Pseudo second order, persamaan Elovich dan difusi intrapartikel. Pada kinetika adsorpsi dengan

menggunakan biosorben teramobilisasi Ca-alginat untuk penyerapan Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) seluruhnya cenderung lebih mengikuti model kinetika pseudo second order dengan $r^2 = 0,903$; 1; dan 0,999 masing-masing ion logam dan pada biosorben non amobilisasi juga dapat mengikuti model kinetika pseudo second-order dengan nilai r^2 masing-masing yaitu 0,989; 0,990 dan 0,999 untuk masing-masing ion logam.

Pada penentuan konsentrasi optimum untuk masing-masing biosorben amobilisasi dan non amobilisasi untuk penyerapan ion Pb(II) diperoleh pada konsentrasi 200 mgL^{-1} . Untuk penyerapan ion Cd(II) diperoleh pada konsentrasi 250 mgL^{-1} , sedangkan untuk penyerapan ion Zn(II) diperoleh pada konsentrasi 300 mgL^{-1} dan 200 mgL^{-1} masing-masing.

Dari data variasi konsentrasi di analisis isotherm adsorpsi dengan model isotherm Langmuir, Freundlich, Temkin dan D-R. Data analisis pada biosorben amobilisasi dapat mengikuti ke empat model dengan nilai r^2 bervariasi dari 0,869-0,965 pada suhu kamar untuk ion Pb(II), $r^2 = 0,956$ -0,988 untuk Cd(II) dan $r^2 = 0,930$ -0,993 untuk Zn(II). Pada biosorben non amobilisasi diperoleh model isotherm yang juga dapat mengikuti ke empat model di atas dengan nilai r^2 berkisar antara 0,946-0,969 untuk Pb(II), $r^2 = 0,930$ -0,957 untuk Cd(II) dan $r^2 = 0,945$ -0,968 untuk Zn(II).

Dari data termodinamika diperoleh nilai Energi bebas Gibbs (ΔG), entalpi (ΔH) dan entropi (ΔS). Biosorben teramobilisasi Ca-alginat diperoleh nilai ΔG bernilai negative (-) pada semua temperatur untuk semua ion logam, ini menyatakan bahwa proses biosorpsi berlangsung secara spontan dan nilai ΔG menurun dengan naiknya suhu. Nilai ΔH bernilai negatif (-) untuk ion Pb(II) ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksoterm, sedangkan untuk ion Cd(II) dan Zn(II) ΔH bernilai (+), ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara endoterm dan bergantung pada suhu, sedangkan nilai ΔS = (-), ini menunjukkan bahwa ketidakteraturan semakin menurun pada antarfase padatan dan larutan. Pada biosorben non amobilisasi diperoleh nilai ΔG bernilai negatif (-) pada semua temperatur untuk semua ion logam, ini menyatakan bahwa proses biosorpsi berlangsung secara spontan dan nilai ΔG menurun dengan naiknya suhu. Nilai ΔH bernilai negatif (-) untuk ion Pb(II) dan Zn(II) menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksoterm dan $\Delta H = (+)$ untuk ion Cd(II) ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara endoterm dan bergantung pada suhu, sedangkan nilai $\Delta S = (+)$ untuk semua ion logam, ini menunjukkan bahwa ketidakteraturan semakin meningkat pada antarfase padatan dan larutan.

Pada analisis multikomponen ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) menyerap ketiga jenis adsorben secara sinergis, antagonis dan kompetitif, hal ini disebabkan karena sisi aktif biosorben dapat menyerap ion logam secara bersama-sama. Ion Pb(II) dengan adanya ion lain dapat bersifat sinergis, Cd(II) dan Zn(II) dengan adanya ion lain menjadi sangat terganggu dengan berkurangnya kapasitas serapan yang berarti terjadi kompetisi dengan ion logam lain.

Biosorpsi ion logam yang terserap dapat didesorpsi menggunakan HNO_3 dengan variasi konsentrasi dan diperoleh konsentrasi HNO_3 optimal 0,1-1 M dengan efisiensi desorpsi 89,93%; 78%; 94,24% masing-masing untuk ion Pb, Cd dan Zn. Pada pH yang rendah ion logam yang terikat pada biosorben akan

terlepas dan digantikan kembali oleh ion H^+ sehingga proses adsorpsi-desorpsi dapat dianggap sebagai terjadinya pertukaran ion.

Untuk mengkarakterisasi biosorben non amobilisasi dan teramobilisasi Ca-alginat di analisis dengan FTIR, SEM-EDX dan XRF. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa terdapat beberapa gugus fungsi antara lain hidroksil, karbonil, karboksil, amina dan alkohol. Dari data SEM dapat memperlihatkan morfologi permukaan biosorben secara kualitatif sebelum penyerapan memiliki rongga atau pori-pori dan kasar dan setelah penyerapan rongga atau pori-pori pada permukaan biosorben sudah tertutupi dengan ditandainya permukaan biosorben yang cenderung datar dan halus. Dari analisis EDX dapat ditentukan unsur-unsur yang terkandung dalam biosorben sebelum dan setelah penyerapan dimana setelah penyerapan terdapat unsur ion logam yang terikat pada biosorben. Data analisis XRF mendukung bahwa pada biosorben sebelum penyerapan terdapat beberapa komposisi unsur dalam biosorben dan tidak ditemukan unsur logam yang akan diserap, akan tetapi setelah terjadi penyerapan maka dapat ditemukan unsur ion logam yang diserap dalam konsentrasi 27,16 % untuk ion Pb(II) pada biosorben non amobilisasi dan 52,896% ion Pb(II) pada biosorben amobilisasi Ca-alginat.



STUDY OF KINETICS AND ADSORPTION ISOTHERM Pb(II), Cd(II) and Zn(II) IONS ONTO NON-IMMOBILIZED AND IMMOBILIZED DURIAN SEED (*durio zibethinus*) IN Ca-ALGINATE.

SUMMARY

The increase in industrial activities has intensified environmental pollution and the deterioration of some ecosystems, with the accumulation of pollutants such as heavy metals, synthetic compounds. Growing attention is being given to the potential the health hazard presented by heavy metals to the environment the potential health hazard presented by heavy metal to the environment (Veglio dan Beolchini, 2007).

Heavy metal contamination of waters increased with the discharge of waste containing heavy metals into the water body. It is the center of attention because of heavy metals degradation in the environment and can be harmful to some species that live in the waters. Heavy metals such as Pb and Cd can cause toxic effects on humans, animals and other plants in the environment even at very low concentrations in which heavy metals accumulate through the food chain so that it can affect human health, while the metals Zn although included into the metal essential but if get into body in excessive amounts can cause intoxication (Metcalf, 2003; Das, 2007).

Biosorption using agricultural waste has the ability as biosorbent heavy metals because it has an active group in the biomaterial. The groups include hydroxyl groups, sulfohydriol, amino chitin, phosphate groups on nucleic acids, and carboxyl sulfohydriol proteins. This groups will attract and bind metal ions in biosorbent (Ahalya et al, 2003) both in the formation of the complex chelating or ion exchange.

Durian seeds (*durio zibethinus*) consists of holoselulosa (60,5%), cellulose (36,4 %), hemiselulosa (13,1%) (Ahmad et al, 2014). These characteristics make durian seeds can be used as biosorbent for heavy metal ions. Several studies have reported on the ability of durian seeds as adsorbent in the form of activated carbon (Jun et al, 2010; Ismail et al, 2010), absorption of methyl red dye (Ahmad, 2014) and methyl orange dye (Chaidir et al, 2015).

This study aims to utilize durian seed powder biosorbent as Pb(II), Cd(II) and Zn(II) biosorption and study ratio absorption capacity biosorbent durian seed powder-non immobilization and immobilized into Ca-alginate polymer in bead form for absorption of metal ions Pb(II), Cd(II) and Zn(II). Advantages of immobilized Ca-alginate biosorbent can improved the performance biosorbent absorption process dynamically, improving mechanical strength, rigidity, size and characteristics of porosity (Zulfadhyl et al, 2001), increasing adsorption capacity, easy separation of the solution from the biosorbent, can be regenerated without biosorbent damage to the structure and can be used repeatedly (regeneration) (Aksu et al, 1998).

In this research study of kinetics, mechanisms and adsorption isotherm for biosorbent non immobilization and immobilization in Ca-alginate. The adsorption kinetics are needed to determine the stage of a speed controller of the reaction

transfer mass process adsorbate in the liquid phase to a solid phase. The overall speed of adsorption on the adsorbent can be explained through the three stages of the mechanism that is the mass transfer outside the solute from the solution bulk through the field boundary to the surface of the adsorbent (film diffusion) is generally identified as resistant mass transfer outside, diffusion solute through a solid adsorbent (diffusion intra particles) and displacement mass between particles (pore volume) or surface diffusion. The mechanism of reaction is used to see if the adsorption processes occurring ion exchange, precipitation or complex formation between the functional group with a metal ions. Biosorption result data in the analysis using the adsorption isotherm model of Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) and Temkin to determined biosorption process take a place in physics or chemistry. Biosorbent interaction between the metal ions in the characterization of functional group analysis using FTIR, surface morphology by SEM-EDX and elemental analysis of metals and metal oxides by XRF.

The study was conducted by studying the optimal condition parameters of adsorption of heavy metal ions Pb(II), Cd(II) and Zn(II) include pH, contact time, concentration and temperature of the solution at biosorbent non immobilized and Ca-alginate immobilized, determination of the kinetics and adsorption isotherm corresponding thermodynamic parameters and determine the factors that influence in the process of biosorption include changes in enthalpy (ΔH), Gibbs free energy change (ΔG) and entropy change (ΔS), determine the characterization of functional group Ca-alginate immobilized and non-immobilized biosorbent bead with FT-IR instruments, surface morphology determined and composition of the elements contained in biosorbent with SEM-EDX and determining the elemental composition and metal oxides by XRF instrument. The concentration of the metal ions remaining in the solution after absorption in the analysis by Atomic Absorption Spectrophotometer instrument (AAS).

The study was conducted durian seed powder with HNO_3 acid, immobilized into Ca-alginate polymer that the resulting dry beads and used for the absorption of metal ions Pb(II), Cd(II) and Zn(II). The adsorption capacity of each biosorbent calculated and the data is processed and analyzed to determination of kinetics, isotherm and thermodynamic parameters biosorption .

This research durian seed powder Ca-alginate immobilized obtained biosorbent cleaning immobilized shaped bead with a size of 1 mm. The optimum conditions for the absorption of durian seed immobilized and non-immobilized on pH parameters for adsorption ions Pb(II) obtained at pH 4. For ion Cd(II) obtained pH optimum at pH 5 and absorption of Zn(II) obtained optimum pH at 5 and 6.

Determination optimum of contact time non immobilization and immobilization for ion of Pb(II) adsorption was obtained at 120 and 75 minutes. For ion Cd(II) adsorption was obtained at 60 and 45 minutes, while for absorption of Zn(II) ion was obtained at 120 and 60 minutes.

Data variation of contact time studied the kinetics of adsorption using the adsorption kinetics equation Pseudo first-order, pseudo second order, and the diffusion equation Elovich, diffusion intrapartikel. Adsorption kinetics using durian seed biosorbent immobilized Ca-alginate for the adsorption of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) entirely tends to more closely follow the pseudo second order kinetics model with $r^2 = 0,904$; 1; and 0,999 respectively and non immobilization also follow the model of pseudo second-order kinetics with a value of r^2 each is

0,989; 0,990; 0,999 for each metal ion. In the determination of optimum concentration for immobilized and non immobilized bio sorbent for adsorption of Pb(II) was obtained at a concentration of 200 mgL^{-1} . For absorption of ion Cd(II) was obtained at a concentration of 250 mgL^{-1} , while for absorption of Zn(II) was obtained at a concentration of 300 mgL^{-1} and 200 mgL^{-1} respectively.

Variations of concentration data adsorption is analysis by isotherm models Langmuir, Freundlich, Temkin and D-R. Data analysis on immobilized durian seed can follow all four models with varying r^2 value of 0,869 - 0,965 at room temperature for ion Pb(II), $r^2 = 0,956$ - 0,989 for Cd(II) and $r^2 = 0,930$ - 0,993 for Zn(II). Non-immobilized biosorbent obtained isotherm models were also able to follow all the above four models with r^2 values ranging from 0,946 - 0,969 for Pb(II), $r^2 = 0,930$ - 0,956 for Cd (II) and $r^2 = 0,969$ - 0,945 for Zn (II).

Thermodynamic data obtained value of free energy Gibbs (ΔG), enthalpy (ΔH) and entropy exchange (ΔS). Biosorbent of Ca-alginate immobilization obtained value ΔG is negative (-) at all temperatures for all metal ions, it states that the process takes place spontaneously biosorption and ΔG values decreased with increasing temperature. ΔH value is negative (-) for the ions Pb (II) shows that the adsorption process takes place in an exothermic, while for ion Cd (II) and Zn (II) ΔH (+), this is indicated that the adsorption process takes a place in an endothermic and depends on the temperature, adsorption capacity will be higher, while the value of $\Delta S = (-)$, it indicates that the irregularities decrease during interphase solid and solution. Non-immobilized biosorbent obtained ΔG value is negative (-) at all temperatures for all metal ions, it states that the process takes place spontaneously and ΔG values decreased with increasing temperature. ΔH value is negative (-) for Pb(II) and Zn(II) ions, showed that the adsorption process takes a place in an exothermic and ΔH (+) for ion Cd (II) showed that the adsorption process is endothermic and takes place of depends on the temperature, while the value of $\Delta S = (+)$ for all metal ions, this is indicated that the process biosorbntion irregularities increased in solids and solutions interphase.

Multicomponent analysis of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) ions ternary adsorption all types are synergistic, antagonistic and competitive, this is because the actived site can adsorption metal ions together. Ion Pb(II) in the presence of other ions can be synergistic, Cd(II) and Zn(II) in the presence of other ions become very annoyed with the reduced adsorption capacity which mean there is competition with other metal ions.

Biosorption of metal ions can be desorbed using HNO_3 with variation of concentration and obtained concentration optimal of 0,1-1 M HNO_3 with desorption efficiency Pb, Cd and Zn of 89,93%; 78%; 94,24% respectively. At low pH metal ions in biosorbent can be detached and replaced H^+ ions, desorption- adsorption process can be considered as the ion exchange.

Characterization of non-immobilized and immobilized durian seed analyzed by FTIR, SEM-EDX and XRF. FTIR characterization results indicated that there are functional groups include hydroxyl, carbonyl, carboxyl, amine and alcohol. Analysis SEM can showed that surface morphology qualitatively biosorbent have cavities or pores and rough before adsorption and after absorption cavities or pores on the surface is already covered marked a biosorbent surface that tends flat and smooth. EDX analysis can determined elements which contained in biosorbent before and after absorption, after absorption there are

elements of metal ions bounded in biosorbent, data is analysis by XRF before and after absorption. XRF data supports that biosorbent prior to absorption there are some elements in the composition biosorbent and no metallic elements that will be absorbed, but after the adsorption can be found elements of metal ions are adsorbed in concentration of 27,16% for Pb(II) ion on non-immobilized and 52,896% Pb (II) on Ca-alginate immobilization.



Allah yang meninggikan
 Orang-orang yang beriman dan
 Orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan
 Beberapa derajat
 (QS Mujaadilah ayat 11)



Terima kasih tak terhingga kepada papa Mulyono Sharief (alm), mama tersayang Maizarlis, suami tercinta Ahya ul Asrar ST dan anak-anakku tercinta dan dibanggakan Alfadilah Yudistisia dan M.Fakhri Almuttaqi yang telah berkorban luar biasa moril dan materil untuk pencapaian ini.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 22 September 1974 di Padang Sumatera Barat, sebagai anak ke empat dari lima bersaudara dari ayah Mulyono Syarief (Alm) dan Maizarlis. Penulis menamatkan SD pada tahun 1886, SMP pada tahun 1989 dan SMA pada tahun 1992 di Padang. Penulis kemudian melanjutkan kuliah Strata 1 di jurusan Kimia Unand pada tahun 1992 dan memperoleh gelar Sarjana Sains pada tahun 1997, kemudian langsung melanjutkan ke Program Pascasarjana Unand dan memperoleh gelar Magister Sains pada tahun 1999 dengan beasiswa DUE-Karyasiswa.

Sejak tahun 1999 sampai sekarang penulis ditugaskan sebagai dosen oleh Kementerian Riset dan Teknologi Dikti pada Program Studi Kimia Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jambi. Pada Tahun 2014 memperoleh kesempatan meneruskan pendidikan pada Program Doktor Ilmu Kimia Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas Padang dengan beasiswa BPP-DN DIKTI.

Padang, Mei 2017

Intan Lestari



PERNYATAAN

Dengan ini saya, nama : Intan Lestari yang beralamat di Banuaran No 16 RT 02/01 Kel.Banuaran Kec. Lubuk Begalung Padang, menyatakan bahwa dalam disertasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau diterbikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dicantumkan dalam naskah dan disebutkan dalam daftar kepustakaan.

Padang, Mei 2017

Penulis

Intan Lestari



KATA PENGANTAR

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul “ **Studi Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Ion-ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) Pada Biosorben Biji Durian (*durio zibethinus*) Non Amobilisasi dan Teramobilisasi Dalam Ca-alginat**”. Penulisan Disertasi ini bertujuan untuk memperoleh gelar Doktor Sains (S3) pada Program Studi Ilmu Kimia Pascasarjana, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan Disertasi ini penulis banyak mendapatkan masukan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Hermansyah Aziz, M.Sc sebagai ketua komisi pembimbing sekaligus pembimbing I atas segala motivasi, dorongan, arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan disertasi ini.
2. Ibu Prof. Rahmiana Zein sebagai anggota komisi pembimbing sekaligus pembimbing II atas segala motivasi, dorongan, arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan disertasi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Admin Alif selaku anggota komisi pembimbing sekaligus pembimbing III atas segala motivasi, dorongan, arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan disertasi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Edison Munaf (Alm) yang telah memberi motivasi dalam penyelesaian studi Program Doktor ini.
5. Bapak Prof. Dr. Mansyurdin, selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas yang telah memfasilitasi dalam menyelesaikan studi Program Doktor ini.
6. Kemenristek DIKTI yang telah memberikan beasiswa BPPDN Program Doktor di Universitas Andalas
7. Bapak Prof. Dr. Rer.nat.Asrial, M.Si selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dan Bapak Prof. Sotrisno, PhD selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi yang telah memberikan izin dan

kesempatan untuk mengikuti pendidikan Program Doktor di Universitas Andalas.

8. Beasiswa Program Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) Kemenristek Dikti yang telah membiayai kuliah dari 2014-2017.
9. Seluruh staf pengajar dan pegawai Program Doktor Ilmu Kimia, Pascasarjana, Fakultas MIPA, Universitas Andalas.
10. Rekan-rekan mahasiswa kimia seperjuangan yang sama-sama melakukan penelitian dan juga keluarga yang terus memberikan dukungan.

Akhirnya penulis berharap semoga hasil-hasil penelitian yang dituangkan dalam disertasi ini akan bermanfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan.

Padang, Juni 2017

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	iv
SUMMARY	viii
RIWAYAT HIDUP.....	xii
PERNYATAAN	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR TABEL.....	xxiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Pencemaran logam berat	7
2.2. Biosorpsi	7
2.3. Jenis Interaksi Pada Biosorpsi Ion Logam Oleh mikroorganisme	8
2.4. Biosorben Limbah Pertanian.....	9
2.5. Durian (<i>durio zibethinus</i>)	10
2.6. Pemanfaatan Limbah Durian (<i>durio zibethinus</i>) Sebagai Biosorben.....	12
2.7. Amobilisasi	12
2.7.1. Alginat	13
2.7.2. Struktur Alginat	13
2.7.3. Mekanisme interaksi alginat dengan ion logam	14
2.7.4. Sifat Alginat.....	14
2.7.5. Pembentukan Gel Kalsium Alginat	15

2.8. Biosorpsi Ion Logam Berat Menggunakan Biosorben Teramobilisasi Dalam Alginat	15
2.9. Kinetika Adsorpsi	17
2.10. Isoterm Adsorpsi	18
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2. Bahan dan Alat	21
3.3. Prosedur Kerja :	21
3.3.1. Preparasi Sampel Biji Durian	21
3.3.2. Pretreatment Biomaterial Dengan Asam HNO_3 0,01 M	22
3.3.3. Amobilisasi Serbuk Biji Durian Pada Alginat	22
3.4. Proses Biosorpsi Ion Logam Secara Batch Menggunakan Biosorben non amobil dan teramobilisasi dalam Ca-alginat.	22
3.4.1. Penentuan Kondisi Optimum pH larutan	23
3.4.2. Penentuan Waktu kontak optimum	23
3.4.3. Penentuan Konsentrasi Optimum	24
3.4.4. Pengaruh Suhu Larutan Terhadap Termodinamika Biosorpsi	24
3.4.5. Penentuan Keseimbangan Isoterm Adsorpsi.	24
3.4.6. Studi Termodinamika	24
3.5. Desorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben biji durian teramobilisasi Ca-alginat.	25
3.6. Analisis Multikomponen Ion Logam	25
3.7. Analisis Karakteristik Dari Biosorben biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi Ca-alginat.	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Biosorben Serbuk Biji Durian (SBD) Teramobilisasi Dalam Ca-Alginate. ...	27
4.2. Pengaruh pH Terhadap Penyerapan Ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II)	28
4.2.1. Ion Logam Pb(II)	28
4.2.2. Ion Logam Cd (II)	30
4.2.3. Ion Logam Zn(II)	32
4.3. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Penyerapan Ion Logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II).	33
4.3.1. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Ion Pb(II)....	33

4.3.2. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Cd(II). ...	35
4.3.3. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Zn(II). 36	
Kinetika Adsorpsi.....	37
4.4.1. Kinetika Biosorpsi ion Pb(II).	37
4.4.2. Kinetika Biosorpsi Ion Logam Cd(II)	40
4.4.3. Kinetika biosorpsi Ion Logam Zn(II)	41
4.5. Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Isoterm Adsorpsi.	44
4.5.1. Pengaruh Konsentrasi Ion Logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada Biosorben SBD-Amobilisasi dan Non-amobilisasi.....	44
4.5.2. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap biosorpsi Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan biosorben amobil dan non-amobil pada suhu berbeda. .	46
4.5.3. Model Isoterm Adsorpsi Ion Logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) Pada Suhu Berbeda Dengan Biosorben amobil dan non-amobil.	49
4.5.4. Termodinamika Ion logam Pada Biosorben Biji durian Amobilisasi Ca-alginat dan non amobilisasi.	64
4.6. Sistem Biosorpsi Campuran Ion Logam Pada Biosorben Amobilisasi.	67
4.6.1. Kompetisi antara ion logam Pb(II) dengan adanya logam lain.	67
4.6.2. Kompetisi ion Logam Cd(II) dengan ion logam Pb(II) dan Zn(II).	67
4.6.3. Kompetisi ion Logam Zn(II) dengan ion logam Pb(II) dan Cd(II).	69
4.7. Desorpsi ion logam pada biosorben teramobilisasi Ca-alginat.....	70
4.8. Karakterisasi Biosorben non amobilisasi dan amobilisasi Ca-alginat.....	71
4.8.1. Analisis FTIR Biosorben non-amobil dan amobilisasi Ca-alginat.....	71
4.8.2. FE-SEM Serbuk Biji Durian Non amobil.	74
4.8.3. SEM Biosorben SBD-Amobilisasi Ca-alginat	76
4.8.4. EDX Biosorben SBD-amobilisasi.	77
4.8.5. EDX Biosorben SBD-Non Amobilisasi.....	78
4.8.6. Hasil Analisis XRF	79
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN.....	82
5.1. SIMPULAN	82
5.2. SARAN	83
DAFTAR PUSTAKA	84
CURRICULUM VITAE	94

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 1. Buah Durian	10
Gambar 2a. Biji durian. Gambar 2b. Irisan biji durian	11
Gambar 3. Struktur Alginat (G = Guluronat, M = Manuronat).	13
Gambar 4. Pembentukan Ca-alginat, struktur monomer alginat : Manuronat (M) sebelah kiri dan Guluronat (G) sebelah kanan. B.Struktur egg box dari ikat silang antara kation divalen dan monomer G dari dua rantai alginat yang berbeda	14
Gambar 5. Biosorben SBD-non amobilisasi (a) dan amobilisasi Ca-alginat (b) .	27
Gambar 6. Biosorben biji durian yang dikontakan dengan ion logam dalam bentuk non amobil (a) dan teramobilisasi Ca-alginat (b).	28
Gambar 7. Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penyerapan Pb(II).	29
Gambar 8. Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penyerapan Cd(II).	31
Gambar 9. Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penyerapan Zn(II).	32
Gambar 10. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Pb (pH 4 pada non amobilisasi dan amobilisasi, massa biosorben = 0,1g konsentrasi awal = 10 mgL ⁻¹ , Kecepatan pengadukan = 150 rpm)..	34
Gambar 11. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Cd, pH 5 pada non amobil dan amobilisasi bead, massa biosorben = 0,1 g, konsentrasi awal = 10 mgL ⁻¹ , Kecepatan pengadukan = 150 rpm)..	35
Gambar 12. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Cd, pH 4 pada non amobil dan pH= 5 pada SBD-amobilisasi, massa biosorben = 0,1 g, konsentrasi awal = 10 mgL ⁻¹ , Kecepatan pengadukan = 150 rpm	36
Gambar 13. Studi Kinetika biosorpsi ion Pb (II) menggunakan biosorben amobil dry bead dan non amobil : (A) Pseudo first order (B) Pseudo second order (C) Elovic dan (D) Difusi intra partikel.....	38
Gambar 14. Studi Kinetika biosorpsi ion Cd (II) menggunakan biosorben amobilisasi dan non amobilisasi : (A) Pseudo first order (B) Pseudo second order (C) Elovic dan (D) Difusi intra partikel	41

Gambar 15. Studi Kinetika biosorpsi ion Zn (II) menggunakan biosorben amobil dan non amobil : (A) Pseudo first order (B) Pseudo second order (C) Elovic dan (D) Difusi intra partikel.	42
Gambar 16. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Pb(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi dan non-amobil. (pH larutan Pb = 4, vol = 20 mL, massa = 0,1 g, waktu kontak SBD-amobil dry bead = 120 menit, SBD-non amobil = 75 menit).....	44
Gambar 17. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Cd(II) dengan biosorben SBD-amobil dan non amobil dengan konsentrasi bervariasi ((pH larutan Cd = 5, vol larutan = 20 mL, massa = 0,1 g, waktu kontak SBD-amobil = 45 menit, SBD-non amobil = 45).	45
Gambar 18. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Zn(II) dengan biosorben amobilisasi dan non amobilisasi (pH larutan Zn 5, vol larutan = 20 mL, massa = 0,1 g, waktu kontak SBD-amobil = 90 menit, SBD-non amobil = 45 menit).....	45
Gambar 19. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Pb(II) pada suhu berbeda dengan biosorben amobilisasi (A) dan non amobil (B).	47
Gambar 20. Pengaruh konsentrasi terhadap biosorpsi Cd(II) pada suhu berbeda dengan biosorben amobil (A) dan non-amobil (B).	47
Gambar 21. Pengaruh konsentrasi terhadap biosorpsi Zn(II) pada suhu berbeda dengan biosorben amobil (A) dan non-amobil (B).	48
Gambar 23. Isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk penyerapan ion Pb(II) oleh SBD non-amobilisasi	51
Gambar 24. Persamaan adsorpsi isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk Cd(II) pada suhu berbeda-beda dengan biosorben amobil.....	56
Gambar 25. Persamaan adsorpsi isotherm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk Cd(II) pada suhu berbeda dengan biosorben SBD-non amobil.	58
Gambar 26. Persamaan adsorpsi isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk penyerapan ion Zn(II) oleh SBD-amobilisasi.	60

Gambar 27. Isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk penyerapan ion Zn(II) oleh SBD non-amobilisasi.....	62
Gambar 28. Termodinamika adsorpsi ion logam pada biosorben SBD-amobil....	65
Gambar 29. Termodinamika ion logam pada biosorben SBD-non amobil.....	66
Gambar 30. Adsorpsi ion logam Pb(II) dengan adanya ion logam lain dalam larutan : 20 mL larutan ion logam campuran, konsentrasi Pb(II) = 200 mgL^{-1} , Cd(II) dan Zn(II) = 0, 50, 100, 150, 200 mgL^{-1}	67
Gambar 31. Adsorpsi ion logam Cd(II) dengan adanya ion logam lain dalam larutan : 20 mL larutan ion logam campuran, konsentrasi Cd(II) = 200 mgL^{-1} , Pb(II) dan Zn(II) = 0; 50; 100; 150 dan 200 mgL^{-1}	69
Gambar 32. Adsorpsi ion logam Zn(II) dengan adanya ion logam lain dalam larutan : 20 mL larutan ion logam campuran, konsentrasi Zn(II) = 200 mgL^{-1} , Cd(II) dan Pb(II) = 0, 50, 100, 150, 200 mgL^{-1}	70
Gambar 33. Pengaruh konsentrasi HNO_3 terhadap % efisiensi desorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II).....	71
Gambar 34. Spektra FT-IR biosorben serbuk biji durian SBD-non amobil sebelum dan setelah penyerapan ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). A. Sebelum penyerapan non treatment, B. Sebelum penyerapan- HNO_3 , C. SBD-Pb, D. SBD-Cd, E. SBD-Zn.....	72
Gambar 35. Spektra FT-IR biosorben teramobilisasi alginat sebelum dan setelah biosorpsi. A. SBD-amobil, B. amobilisasi-Cu, C. amobilisasi- Zn, D. amobilisasi-Cd dan E. amobilisasi- Pb.....	74
Gambar 36. SEM biosorben SBD non-amobilisasi sebelum penyerapan-tanpa treatment (A), treatment dengan HNO_3 (B), biosorben SBD non amobil setelah penyerapan Pb (C), setelah penyerapan Cd (D) dan setelah penyerapan Zn (E).....	75
Gambar 37. SEM Biosorben SBD teramobilisasi alginate : (A) Keadaan awal pembesaran 60x, (B) keadaan awal pembesaran 500x, (C) Setelah menyerap ion Pb(II), (D) setelah menyerap ion Cd(II) dan (E) setelah menyerap ion Zn(II).	76

Gambar 39. EDX Biosorben SBD-amobil awal (A) setelah penyerapan Pb(B), setelah penyerapan Cd (C) dan setelah penyerapan Zn (D)...... 78

Gambar 40. EDX Biosorben SBD non amobil awal (A) setelah penyerapan Pb(B), setelah penyerapan Cd (C) dan setelah penyerapan Zn (D)...... 79



DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 1. Klasifikasi Tanaman Durian	10
Tabel 2. Kandungan Gizi dalam 100 gram biji durian.....	11
Tabel 3. Hasil Kapasitas biosorbsi maksimum (Q_{maks}) ion logam berat menggunakan biomassa teramobilisasi alginate	16
Tabel 4. Konstanta kinetika Pseudo first order, pseudo second order, Elovic dan difusi intra partikel pada biosorbsi ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) menggunakan biosorben SBD non-amobil.....	43
Tabel 5. Konstanta kinetika Pseudo first order, pseudo second order, Elovic dan difusi intra partikel pada biosorbsi ion Pb, Cd dan Zn menggunakan biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat.....	43
Tabel 6. Nilai parameter isotherm Langmuir, Freundlich, Temkin dan D-R pada penyerapan ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan biosorben SBD-non amobilisasi.....	63
Tabel 7. Nilai parameter isotherm Langmuir, Freundlich, Temkin dan D-R pada penyerapan ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat.....	63
Tabel 8. Parameter termodinamika biosorbsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben amobilisasi Ca-alginat.....	64
Tabel 9. Parameter termodinamika biosorbsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben non-amobilisasi.....	65
Tabel 10. Komposisi Unsur Biosorben SBD-Teramobilisasi Ca-alginat.	77
Tabel 11. Komposisi unsur Biosorben SBD-non amobilisasi.....	78
Tabel 12. Hasil analisis XRF SBD-non amobil sebelum penyerapan.	79
Tabel 13. Hasil analisis XRF SBD-non amobil setelah penyerapan ion Pb(II)....	80
Tabel 14. Hasil analisis XRF SBD-amobil sebelum penyerapan.	80
Tabel 15. Hasil analisis XRF SBD-amobil setelah penyerapan Pb(II).....	81

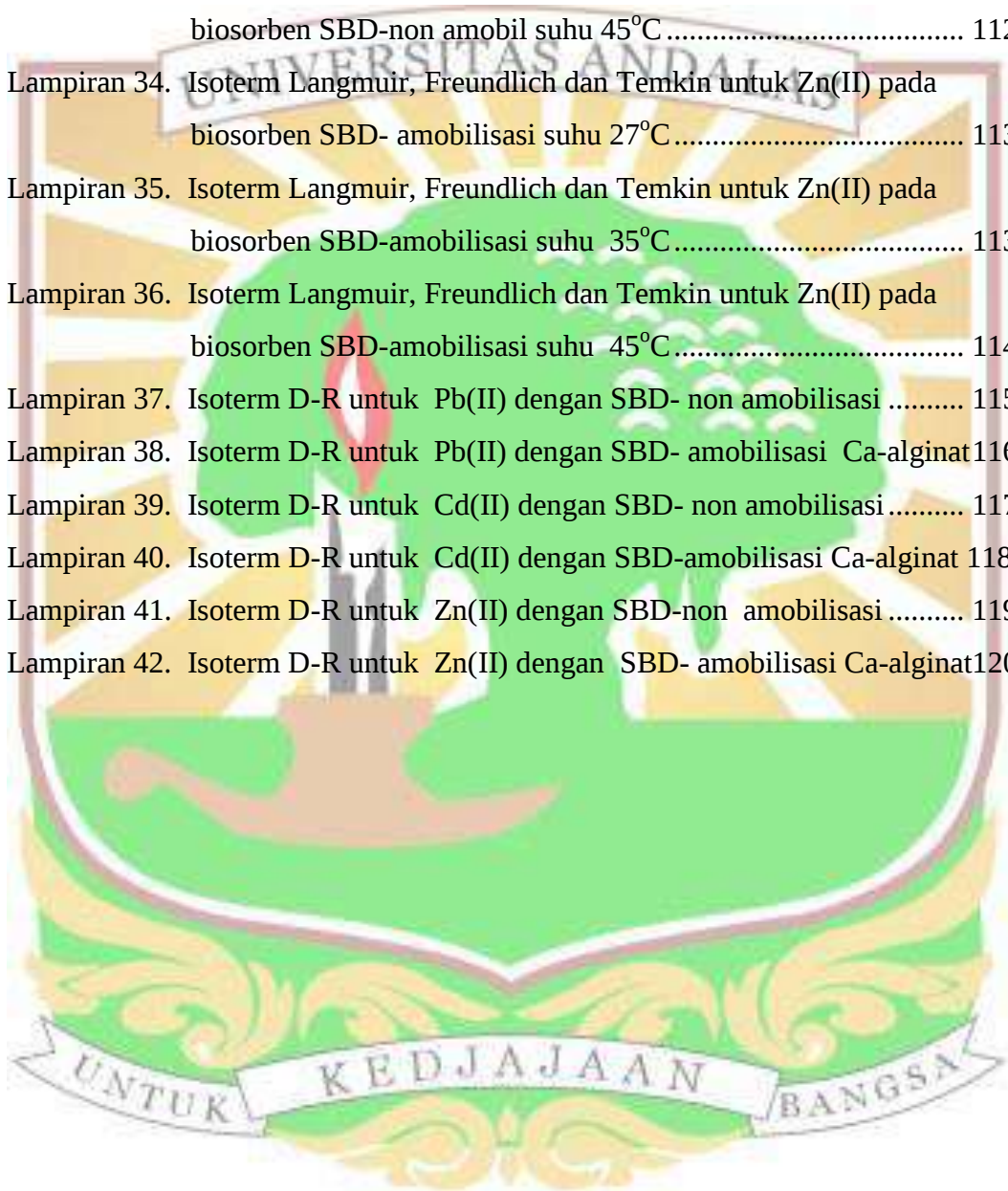
DAFTAR LAMPIRAN

HALAMAN

Lampiran 1. Pengaruh pH pada penyerapan Pb(II) dengan Biosorben Non Amobilisasi dan Amobilisasi Ca-alginat.	96
Lampiran 2. Pengaruh pH pada penyerapan Cd(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.	96
Lampiran 3. Pengaruh pH pada penyerapan Zn(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.	97
Lampiran 4. Pengaruh waktu kontak pada penyerapan Pb (II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.	97
Lampiran 5. Pengaruh waktu kontak pada penyerapan Cd(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.	98
Lampiran 6. Pengaruh waktu kontak pada penyerapan Zn(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.	99
Lampiran 7. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Pb(II) dengan biosorben SBD-non amobil.	99
Lampiran 8. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Pb(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi.	100
Lampiran 9. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Cd (II) dengan biosorben SBD-non amobil	100
Lampiran 10. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Cd (II) dengan biosorben SBD-amobilisasi.	101
Lampiran 11. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Zn(II) dengan biosorben SBD-non amobil	101
Lampiran 12. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Zn(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi.	102
Lampiran 13. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Pb(II) dengan biosorben SBD-non amobil pada suhu berbeda.	102
Lampiran 14. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Pb(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi pada suhu berbeda.	103

Lampiran 15. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Cd(II) dengan biosorben SBD non-amobil pada suhu berbeda.	103
Lampiran 16. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Cd(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi pada suhu berbeda.	104
Lampiran 17. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Zn(II) dengan biosorben SBD non-amobil pada suhu berbeda.	104
Lampiran 18. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Zn(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi pada suhu berbeda.	105
Lampiran 19. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada Biosorben SBD-non amobil pada suhu 27°C.	105
Lampiran 20. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi pada suhu 35°C.	106
Lampiran 21. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD-non amobil pada suhu 45°C.	106
Lampiran 22. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD- amobilisasi pada suhu 27°C.	107
Lampiran 23. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD- amobilisasi pada suhu 35°C.	107
Lampiran 24. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD- amobilisasi pada suhu 45°C.	108
Lampiran 25. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 27°C	108
Lampiran 26. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 35°C	109
Lampiran 27. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 45°C	109
Lampiran 28. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 27 °C	110
Lampiran 29. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 35°C	110
Lampiran 30. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 45°C	111

Lampiran 31. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi suhu 27°C	111
Lampiran 32. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 35°C	112
Lampiran 33. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 45°C	112
Lampiran 34. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD- amobilisasi suhu 27°C	113
Lampiran 35. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 35°C	113
Lampiran 36. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 45°C	114
Lampiran 37. Isoterm D-R untuk Pb(II) dengan SBD- non amobilisasi	115
Lampiran 38. Isoterm D-R untuk Pb(II) dengan SBD- amobilisasi Ca-alginat	116
Lampiran 39. Isoterm D-R untuk Cd(II) dengan SBD- non amobilisasi	117
Lampiran 40. Isoterm D-R untuk Cd(II) dengan SBD-amobilisasi Ca-alginat	118
Lampiran 41. Isoterm D-R untuk Zn(II) dengan SBD-non amobilisasi	119
Lampiran 42. Isoterm D-R untuk Zn(II) dengan SBD- amobilisasi Ca-alginat	120



BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu jenis bahan pencemar yang dapat membahayakan kesehatan manusia adalah logam berat. Zat yang bersifat racun dan sering mencemari lingkungan misalnya logam timbal, merkuri, kadmium dan tembaga. Kontaminasi logam berat diperairan meningkat dengan adanya pembuangan limbah yang mengandung logam berat ke badan perairan. Hal ini menjadi pusat perhatian besar karena logam berat tidak dapat terdegradasi dilingkungan dan dapat membahayakan beberapa spesies hidup di perairan. Logam berat seperti Pb(II) dan Cd(II) dapat menimbulkan efek toksik pada manusia, hewan dan tanaman lainnya di lingkungan bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah dimana logam berat terakumulasi melalui rantai makanan sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia, sedangkan logam Zn(II) walaupun termasuk kedalam logam esensial tapi jika masuk kedalam tubuh dalam jumlah berlebihan dapat mengakibatkan keracunan (Metcalf, 2003; Das, 2007).

Sumber utama kontaminasi logam berat seperti Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dari berbagai kegiatan industri antara lain industri pertambangan, batere, cat, kabel, alloy dan baja, plastik, pelapisan logam, pabrik perangkat listrik, elektroplating, elektrolisis, fotografi, pembakaran batu bara, industri printer dan sebagainya (Metcalf, 2003; Abbas *et al*, 2008).

Berbagai metode kimia dan fisika telah digunakan untuk menghilangkan ion logam berat dari larutan dalam beberapa dekade terakhir. Metode ini meliputi filtrasi, co-presipitasi, ekstraksi cair-cair, koagulasi atau flokulasi, pertukaran ion, penguapan, reverse osmosis, elektrolisis, proses membrane (Juang dan Siau, 2000; Amuda dan Amoo, 2006; Amuda dan Alada, 2006), adsorpsi dengan karbon aktif (Jun *et al*, 2010; Ilamathi *et al*, 2014), penggunaan lumpur aktif aerobik dan anaerobik dan pemisahan secara magnetik (Predescu dan Nicolae, 2012).

Adsorpsi telah dianggap sebagai metode hemat biaya untuk menghilangkan ion logam berat, terutama pada konsentrasi rendah, karena prosesnya sederhana dan pemakaian bahan kimia dalam jumlah sedikit. Adsorben yang umum digunakan adalah karbon aktif, namun harganya relatif mahal

sehingga membutuhkan biaya yang besar untuk menyerap ion logam berat dari air limbah (Jun *et al*, 2010).

Beberapa material biologis telah dipelajari dalam penyerapan ion logam berat dalam air dengan cara biosorpsi seperti rumput laut, alga, jamur dan mikroorganisme baik secara *living cell* dan *non living cell* (Volensky, 2001). Limbah pertanian yang digunakan sebagai biosorben logam berat adalah kulit jengkol untuk penyerapan ion logam Pb(II), Cu(II), Cd(II) dan Zn(II) (Hamzah dkk 2013; Isnaini dkk, 2013), Penyerapan Pb(II) menggunakan biji nangka (Okolo *et al*, 2012), biji buah sirsak (*Annona Muricata*) untuk penyerapan ion logam Cd(II) dan Zn(II) (Rahmadani dkk, 2013) serta untuk penyerapan ion logam Pb(II) dan Cu(II) (Kurniawan *et al*, 2014), kulit semangka untuk penyerapan ion logam Cu(II) (Banerjee *et al*, 2012), biji selasih (*Ocimum bacilicum*) untuk penyerapan ion logam Cu(II) (Adeel *et al*, 2013), biosorpsi Zn pada biji *Carica Papaya* (Ong *et al*, 2012) serta biosorpsi Cd(II) pada kulit durian (Saekaew, 2010).

Biosorpsi dengan menggunakan biosorben limbah pertanian memiliki kemampuan sebagai biosorben logam berat karena memiliki gugus aktif dalam bahan tersebut. Gugus-gugus itu diantaranya adalah gugus hidroksil, gugus fosfat pada asam nukleat, sulfohidril dan karboksil pada protein. Gugus-gugus inilah yang akan menarik dan mengikat ion logam pada biosorben (Ahalya *et al*, 2003) baik terjadinya pembentukan kompleks *chelate* atau pertukaran ion.

Durian dikenal sebagai “The King of the fruit”. Durian khas dengan ukuran yang besar, bau yang unik dan kulit berduri. Tingginya konsumsi durian di Indonesia mengakibatkan jumlah limbah kulit dan biji yang dibuang akan meningkat sehingga dapat menyebabkan masalah lingkungan. Oleh karena itu, maka potensi dari limbah durian berupa kulit dan biji sebagai biosorben dengan biaya yang murah untuk penghilangan kationik, anionik dan pewarna non-ionik telah dilakukan dalam beberapa penelitian (Saikaew dan Kawsarn, 2009; Ahmad *et al*, 2014).

Biji (*Durio zibethinus*) terdiri dari holoselulosa (26,4%), selulosa (60,5%), hemiselulosa (13,1%) (Ahmad *et al*, 2014), karakteristik ini membuat biji durian dapat digunakan sebagai biosorben untuk ion logam berat. Beberapa penelitian melaporkan tentang kemampuan biji durian sebagai adsorben dalam bentuk

karbon aktif (Ismail *et al*, 2010), penyerapan zat warna metil merah (Ahmad *et al*, 2014) dan penarikan zat warna metil orange (Chaidir *et al*, 2015).

Alginat merupakan anionik kopolisakarida yang terdiri dari residu β -1-4 D-manuronat (M) dan α -L-guluronat (G). Alginat merupakan polisakarida alam yang umumnya terdapat dalam dinding sel dari semua spesies alga coklat (*phaeophyceae*), bersifat tidak toksik, dapat terdegradasi dan biokompatibel (Verma *et al*, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perbandingan kapasitas penyerapan biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginat untuk penyerapan ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Keuntungan biosorben teramobilisasi kedalam Ca-alginat adalah dapat meningkatkan performance biosorben pada proses penyerapan secara dinamis (meningkatkan kekuatan mekanik), rigiditas, ukuran dan karakteristik porositas (Zulfadhyl *et al*, 2001), meningkatkan kapasitas penyerapan, memudahkan pemisahan biosorben dari larutan, biosorben dapat diregenerasi tanpa merusak struktur biosorben serta dapat digunakan secara berulang-ulang (regenerasi) (Aksu *et al*, 1998).

Dalam penelitian ini dipelajari kinetika dan isotherm adsorpsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi Ca-alginat. Kinetika adsorpsi dibutuhkan untuk menentukan tahap pengontrol kecepatan adsorpsi dari proses perpindahan massa adsorbat dalam fasa cair ke fasa padat. Kecepatan keseluruhan proses adsorpsi pada adsorben dapat dijelaskan melalui empat tahapan mekanisme (Hu *et al*, 2015) yaitu : 1. Perpindahan zat terlarut dari larutan ke *boundary film* disekitar partikel (*bulk diffusion*). 2. Difusi dari film ke permukaan biosorben, 3. Difusi dari permukaan ke sisi intrapartikel (*intra particular diffusion*) dan 4. Biosorpsi pada sisi intrapartikel melalui bidang batas ke permukaan adsorben (*film diffusion*). Mekanisme reaksi digunakan untuk melihat apakah proses adsorpsi terjadi secara pertukaran ion, presipitasi atau pembentukan kompleks antara gugus fungsi dengan ion logam. Konsentrasi ion logam yang tidak diserap di analisis dengan Spektrofotometer serapan Atom (SSA) sedangkan data isotherm adsorpsi di analisis dengan menggunakan isotherm adsorpsi model Langmuir, Freundlich,

Dubinin-Radushkevich (D-R) dan Temkin. Karakterisasi antara biosorben dengan ion logam di analisis dengan menggunakan FTIR, SEM-EDX dan XRF.

Schiewer dan Balaria (2009) melakukan biosorpsi Pb^{2+} dengan kulit jeruk terprotonasi dan original didapatkan kapasitas penyerapan pada 300 mgL^{-1} adalah 2 mmol g^{-1} , kinetika biosorpsi mengikuti pseudo second order dan kesetimbangan isotherm adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir. Biosorpsi Cd(II) menggunakan serbuk kayu *Areca catechu* dipelajari oleh Chakravarty *et al* (2010), kecepatan persamaan kinetika adsorpsi mengikuti pseudo second order dan isotherm adsorpsi mengikuti model Langmuir, Freundlich dan Dubinin-Radushkevich. Hu *et al* (2015) mempelajari biosorpsi Cu(II) pada kulit bambu (*Acidosa edulis*) dan dipelajari kinetika biosorpsi secara difusi intrapartikel, sedangkan isotherm adsorpsi mengikuti model Langmuir. Biosorpsi Pb(II) pada biomassa *Phaseolus vulgaris* L diperoleh kapasitas biosorpsi maksimum adalah $2,064 \times 10^{-4} \text{ mol g}^{-1}$ atau $42,77 \text{ mg g}^{-1}$ dan isotherm adsorpsi mengikuti model Langmuir dan Dubinin-Radushkevich. Data termodinamika biosorpsi dijelaskan bahwa proses biosorpsi terjadi secara endoterm dan spontan (Ozkan *et al*, 2009).

Keterbaruan penelitian ini adalah didapatkannya biosorben baru yaitu biji durian teramobilisasi kedalam polimer Ca-alginat untuk biosorpsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Dari studi literatur belum ditemukan penggunaan biosorben serbuk biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginat untuk biosorpsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) serta bagaimana bentuk kinetika dan isotherm adsorbsinya. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan “Studi Kinetika dan isotherm adsorpsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben biji durian (*durio zibethinus*) non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginat”.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah biji durian berpotensi sebagai biosorben ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II)?
2. Apakah biji durian yang di amobilisasi dapat meningkatkan kapasitas penyerapan terhadap ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II)?

3. Bagaimana kinetika dan isotherm adsorpsi yang sesuai untuk biosorpsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben serbuk biji durian (SBD) non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginat?
4. Bagaimana faktor parameter termodinamika yang mempengaruhi dalam proses biosorpsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II), dan Zn(II) meliputi perubahan entalpi (ΔH), perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) dan perubahan entropi (ΔS) pada biosorben SBD-non amobil dan teramobilisasi dalam Ca-alginat?
5. Bagaimana pengaruh kompetisi antar ion-ion logam dalam proses penyerapan untuk larutan multikomponen?
6. Bagaimana karakterisasi biomaterial yang meliputi gugus fungsi yang berperan dalam biosorpsi, bentuk morfologi permukaan dan komposisi unsur yang terkandung dalam biosorben SBD-non amobil dan teramobilisasi dalam Ca-alginat sebelum dan setelah penyerapan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari kondisi optimal parameter adsorpsi ion-ion logam berat (Pb, Cd dan Zn) meliputi pH (2-7), waktu kontak (5-150 menit), konsentrasi ($10-300 \text{ mgL}^{-1}$) serta suhu larutan ($27-45^\circ\text{C}$) pada biosorben SBD-non amobil dan teramobilisasi dalam Ca-alginat.
2. Menentukan kinetika adsorpsi dari variasi waktu kontak dan isotherm adsorpsi dari variasi konsentrasi untuk adsorpsi ion-ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) menggunakan biosorben biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginat.
3. Menentukan faktor parameter termodinamika dari data konsentrasi yang mempengaruhi dalam proses biosorpsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) meliputi perubahan entalpi (ΔH), perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) serta Perubahan entropi (ΔS).
4. Melakukan analisis multikomponen antara ion-ion logam Pb-Cd-Zn pada proses penyerapan Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) untuk menentukan efek sinergis atau antagonis pada penyerapan ion logam dalam larutan multikomponen.

5. Menentukan kharakterisasi gugus fungsi biomaterial dengan FT-IR, morfologi permukaan dengan SEM-EDX, analisis unsur dan oksida logam dengan XRF dari biosorben SBD-non amobil dan teramobilisasi dalam Ca-alginat sebelum dan setelah penyerapan ion logam.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi tentang karakterisasi dari biomaterial, kinetika dan isotherm untuk biosorbsi ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) menggunakan biosorben serbuk biji durian secara non-amobil dan teramobilisasi dalam Ca-alginat.
2. Memberikan informasi dalam pengolahan air limbah yang mengandung ion-ion logam berat dengan cara biosorbsi.
3. Memanfaatkan biosorben yang ramah lingkungan, murah biaya dan tersedia secara melimpah di alam.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran logam berat

Polusi logam berat merupakan salah satu masalah lingkungan yang utama dewasa ini. Umumnya ion logam berat bersifat toksik terhadap organisme hidup terutama ekosistem perairan dan juga dapat menimbulkan resiko terhadap kesehatan manusia dimana logam berat dapat terakumulasi melalui rantai makanan dan jaringan hidup sehingga mempengaruhi manusia, hewan dan tumbuhan. Ion logam berat bersifat stabil, tidak dapat terdegradasi dan tetap berada di lingkungan. Pada umumnya ion logam berat berasal dari air limbah industri seperti industri elektroplating, elektrolisis, elektro-osmosis, produksi energi dan bahan bakar, pestisida, industri besi dan baja, fotografi, manufakturing, penambangan batu bara, industri otomotif dan aktifitas industri lain (Abbas *et al*, 2014, Demirbas, 2008., Xu dan Zhuang, 2014).

2.2. Biosorpsi

Biosorpsi adalah proses yang menggunakan biomassa hidup atau mati untuk mengambil logam berat dan menghilangkan kontaminasi pada limbah industri (Volesky, 2001). Proses biosorpsi merupakan suatu cara yang dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat pada konsentrasi rendah. Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari bahan biologis untuk mengakumulasi logam berat dari air limbah melalui mekanisme psikokimia jalur serapan. Keuntungan metoda biosorpsi dari metode konvensional lainnya adalah biaya relatif murah, efisiensi tinggi pada penghilangan logam dari larutan encer, dapat dilakukan regenerasi biosorben dan kemungkinan perolehan logam kembali (recovery). Biosorpsi untuk menghilangkan logam berat dapat memberikan alternatif yang menarik pada metode fisika – kimia (Ashraf *et al*, 2007).

Proses biosorpsi melibatkan fase padat (bahan biosorben) dan fase cair (pelarut seperti air yang mengandung spesies terlarut yang akan diserap (sorbit, ion logam). Afinitas sorben biasanya lebih tinggi dari sorbat, sehingga sorbat tertarik dan dihilangkan pada mekanisme tertentu, proses berlanjut sampai

kesetimbangan terdapat antara jumlah sorbat yang terikat pada sorben dan bagian yang tersisa dalam larutan (Das *et al.*, 2008).

Faktor yang mempengaruhi dan karakteristik dari mekanisme biosorpsi antara lain :

1. Jenis gugus fungsi biologi yang tersedia pada biosorben
2. Jenis biomassa yaitu living cell dan non living cell
3. Karakteristik kimia, stereokimia dan koordinasi yang ditargetkan pada logam dan spesies logam.
4. Karakteristik larutan logam seperti pH, konsentrasi dan kompetisi ion logam.

Kapasitas penyerapan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = \frac{C_0 - C_e}{M} \cdot V \quad (1)$$

2.3. Jenis Interaksi Pada Biosorpsi Ion Logam Oleh mikroorganisme

Ada tiga interaksi antara ion logam dengan biomassa yaitu interaksi ionik, interaksi polar dan interaksi campuran. Interaksi ionik adalah interaksi yang terjadi antara kation logam dengan anion gugus fungsi makromolekul pada permukaan dinding sel. Interaksi tersebut mirip dengan interaksi dalam resin penukar kation, kekuatan dan spesifikasinya tergantung pada jari-jari ion, dan muatan logam, derajat ionisasi anion makromolekul pada pH operasional dan persaingan dari muatan positif tertentu dalam polimer.

Interaksi polar adalah interaksi ion dipol antara kation logam dengan gugus polar seperti $-OH$, NH_2 , dan $C=O$ yang terdapat pada polisakarida penyusun dinding sel mikroorganisme. Gugus fungsi tersebut dapat membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan ion logam transisi. Pembentukan ikatan kovalen koordinasi tergantung pada kemampuan gugus kelat dalam makromolekul.

Interaksi campuran adalah interaksi gabungan antara interaksi ionik dengan interaksi polar. Interaksi campuran ini dapat dilihat pada protein yang gugus aktifnya dapat mengikat ion logam melalui ujung amino dan karboksilat atau melalui rantai peptide yang terprotonasi.

2.4. Biosorben Limbah Pertanian

Dalam uraian berikut akan dikemukakan beberapa penelitian tentang biosorpsi logam berat menggunakan biomaterial limbah pertanian.

Hamzah dkk (2013) telah melakukan penelitian pemanfaatan kulit jengkol (*Pithecellobium Jiringa* Prain) sebagai biosorben untuk penyerapan logam Pb(II) dan Cu(II) dalam air limbah. Biosorpsi dipengaruhi oleh faktor pH, waktu kontak dan konsentrasi larutan. Hasil didapat pada kondisi optimum yaitu pH 3 dan 5 untuk Pb(II) dan Cu(II), waktu kontak 30 menit untuk Pb(II) dan 90 menit untuk Cu(II), konsentrasi larutan optimum 4000 mgL^{-1} untuk Pb(II) dan 3000 mgL^{-1} untuk Cu(II) dengan kapasitas serapan masing-masing $36,36 \text{ mgg}^{-1}$ dan $14,73 \text{ mgg}^{-1}$.

Kurniawan *et al* (2014) telah mempelajari isotherm dan kinetika penyerapan Pb(II) dan Cu(II) menggunakan biji buah sirsak (*Annona muricata* L). Kondisi optimum diperoleh pada pH 3 untuk Pb dan 4 untuk Cu dengan waktu kontak 45 dan 60 menit. Kapasitas adsorpsi maksimum $5,585 \text{ mgg}^{-1}$ untuk Pb(II) dan $4,1685 \text{ mgg}^{-1}$ untuk Cu(II).

Xu dan Zhuang, 2014 telah melakukan penyerapan Cd(II) dari larutan menggunakan kulit kacang termodifikasi secara kimia. Hasil penyerapan diperoleh pada pH 8, waktu kontak 40 menit, kapasitas adsorpsi maksimum $40,10 \text{ mgg}^{-1}$.

Jaishankar *et al* (2014) telah melakukan biosorpsi beberapa logam berat menggunakan limbah pertanian seperti kulit kacang dan kulit pisang untuk penyerapan logam berat Pb(II), Cd(II), Cu(II) dan Zn(II). Urutan adsorpsi ion logam oleh kulit kacang yaitu $\text{Pb(II)} > \text{Zn(II)} > \text{Cu(II)} > \text{Cd(II)}$, sedangkan pada kulit pisang $\text{Cd(II)} > \text{Cu(II)} > \text{Pb(II)} > \text{Zn(II)}$. El-Sayed *et al* (2010) telah melakukan biosorpsi ion logam Ni(II) dan Cd(II) dari larutan menggunakan sekam padi. Percobaan dilakukan secara batch dengan mempelajari pengaruh pH, massa adsorben dan konsentrasi awal larutan. Kapasitas adsorpsi maksimum yang diperoleh yaitu $35,08 \text{ mgg}^{-1}$ untuk Ni(II) dan $144,19 \text{ mgg}^{-1}$ untuk Cd(II). Parameter termodinamika dipelajari seperti energi bebas (ΔG), entalphi (ΔH) dan perubahan entropi (ΔS). Hasil menunjukkan bahwa proses biosorpsi berlangsung secara spontan, reaksi eksoterm dan ketidakaturan meningkat.

Zein *et al* (2010) telah mempelajari penyerapan Pb(II), Cd(II) dan Co(II) menggunakan limbah kulit manggis, penyerapan berlangsung cepat dengan waktu 60 menit dengan efesiensi serapan 90%.

2.5. Durian (*durio zibethinus*)

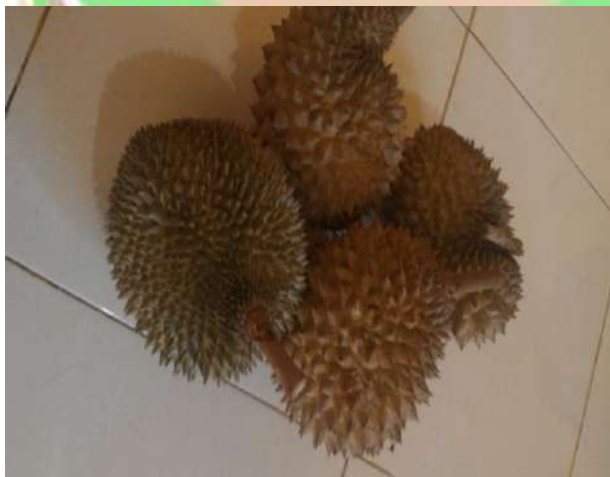
Durian (*durio zibethinus*) merupakan salah satu tanaman hasil perkebunan yang telah lama dikenal oleh masyarakat yang pada umumnya dimanfaatkan sebagai buah saja. Klasifikasi ilmiah tanaman durian dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Tanaman Durian (Rukmana, 2001).

Klasifikasi ilmiah

Kingdom	Plantae (tumbuhan)
Divisi	Spermatophyta
Sub divisi	Angiospermae
Kelas	Dicotyledone
Ordo	Malvaceae
Famili	Bombacaceae
Genus	Durio
Spesies	<i>durio zibethinus</i>

Buah durian (Gambar 1) berwarna hijau sampai kecoklatan, tertutup oleh duri-duri yang berbentuk piramid lebar, tajam dan panjang 1 cm. Tiap pohon durian dapat menghasilkan buah antara 80-100 butir, bahkan hingga 200 buah, terutama pada pohon durian berumur tua (Rukmana, 2001).



Gambar 1. Buah Durian.

2.5.1. Kandungan Gizi Biji Durian

Biji durian (Gambar 2a) berbentuk bulat-telur, berkeping dua (dikotil), berwarna putih kekuning-kuningan atau coklat muda. Tiap rongga terdapat 2-6 biji atau lebih. Biji durian merupakan alat atau bahan perbanyakkan tanaman secara generatif, terutama untuk batang bawah pada penyambungan (Rukmana, 2001).



Gambar 2a. Biji durian.

Gambar 2b. Irisan biji durian

Biji durian yang diiris dan dikeringkan (Gambar 2b) memiliki kandungan pati yang cukup tinggi sehingga berpotensi sebagai alternatif pengganti bahan makanan atau bahan baku pengisi farmasetik, contohnya pati biji durian diketahui dapat digunakan sebagai bahan pengikat dalam formulasi tablet ketoprofen (Jufri, 2006). Berikut adalah kandungan gizi yang terdapat dalam biji durian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 : Kandungan Gizi dalam 100 gram biji durian (Winarno, 2006)

Zat Gizi	Jumlah (g)
Karbohidrat	30
Protein	9,79
Lemak	0,2
Serat	1,08
Kalsium	0,270
Fosfor	0,900
B Karoten	0,250
Riboflavin	0,00005
Niacin	0,0009
Air	51,1

Biji durian mengandung senyawa sterol, phitosterol, asam lemak siklopropena dan metabolit sekunder lain seperti alkaloid, terpenoid. Biji durian banyak digunakan dalam bidang farmasi terutama sebagai bahan pengikat.

2.6. Pemanfaatan Limbah Durian (*durio zibethinus*) Sebagai Biosorben

Pektin dari kulit durian telah digunakan untuk menghilangkan logam berat. Kulit durian dan modifikasi DRP dan (mDRP) digunakan sebagai biosorben untuk menghilangkan logam berat Pb(II), Cd(II), Zn(II) dan Ni(II) dan dibandingkan dengan dua produk komersial seperti pektin jeruk (CP) dan pektin jeruk termodifikasi (MCP). Secara umum urutan penghilangan logam berat oleh semua biosorben adalah Cu(II)>Pb(II)>Ni(II)>Zn(II)>Cd(II) (Wong *et al*, 2008).

Mirhosseini dan Amid (2012) telah melakukan pemanfaatan biji durian untuk penyerapan zat warna. Ismail dkk (2010) telah membuat karbon aktif dari biji durian menggunakan asam fosfat (H_3PO_4) sebagai zat pengaktif. Efek dari rasio impregnasi, suhu aktivasi, tingkat pemanasan pada luas permukaan karbon, porositas dan massa.

2.7. Amobilisasi

Amobilisasi merupakan teknik yang digunakan untuk fiksasi kimia atau fisika dari sel, organel sel, enzim atau protein kedalam matriks pendukung atau membran dalam rangka meningkatkan stabilitasnya dan memungkinkannya dalam penggunaan yang berulang-ulang.

Ada beberapa teknik aplikasi mengamobilisasikan biomassa. Teknik dasar yang digunakan untuk aplikasi biosorpsi didasarkan pada adsorpsi dalam matriks pendukung, pelapisan dalam matriks polimer, ikatan kovalen atau dengan *cross link cell*.

Adsorpsi dengan matriks pendukung biasanya digunakan untuk mikroorganisme. Matriks pendukung disterilkan terlebih dahulu dan diikatkan pada mikroorganisme induk sehingga setelah beberapa waktu mikroorganisme tersebut akan menutupi seluruh permukaan pendukung. Pada pelapisan dengan matriks polimer, polimer yang biasa digunakan antara lain seperti kalsium alginat, polisulfon, polietilamin. Sedangkan pada ikatan kovalen, senyawa yang banyak digunakan adalah silika gel. Pada pengikatan silang, agen pengikat silang ditambahkan untuk membentuk agregat seluler yang stabil. Agen pengikat silang yang biasa digunakan adalah formaldehid, glutaraldehid, divinil sulfon, dan campuran urea-formaldehid.

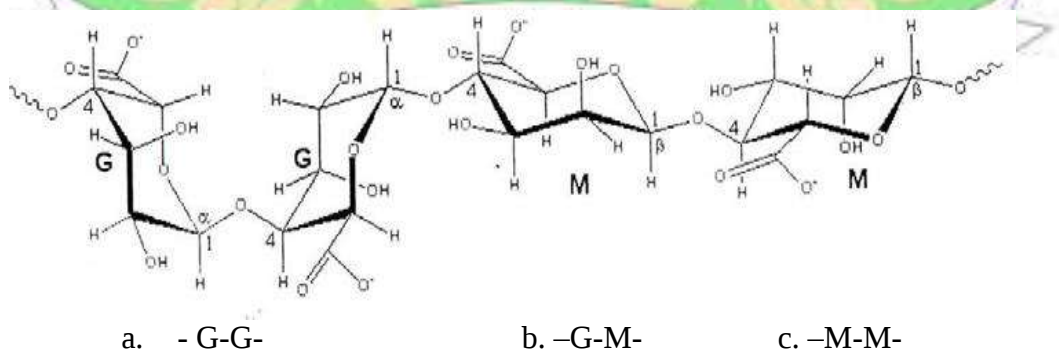
2.7.1. Alginat

Alginat adalah anionik kopolisakarida yang terdiri dari residu β -1-4 D-manuronat (M) dan α -L-guluronat (G) (Bayramoglu *et al.*, 2003). Alginat merupakan polisakarida alam yang umumnya terdapat dalam dinding sel dari semua spesies alga coklat (*phaeophyceae*). Asam alginat yang ditemukan diekstraksi pertama sekali dan dipatenkan oleh seorang ahli kimia dari Inggris Stanford tahun 1880 dengan mengekstraksi *Laminaria stenopylla* (McHugh, 2003).

Asam alginat dalam alga coklat umumnya terdapat sebagai garam-garam kalsium, magnesium dan natrium. Tahap pertama pembuatan alginat adalah mengubah kalsium dan magnesium alginat yang tidak larut menjadi natrium alginat yang larut dalam air dengan pertukaran ion dibawah kondisi alkalin (Zhanjiang, 1990).

2.7.2. Struktur Alginat

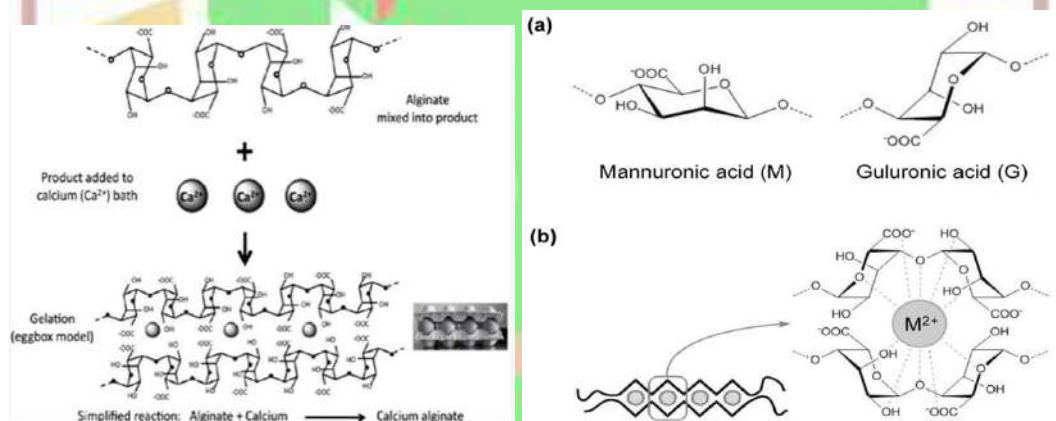
Natrium alginat mempunyai rumus molekul $(C_6H_7NaO_6)_n$. Nilai n menentukan panjangnya rantai alginat dan besarnya harga n tergantung pada spesies asal alginat tersebut diisolasi karena berbeda spesies alga coklat maka berbeda pula panjang rantainya (Bayramoglu *et al.*, 2003). Berat molekul Natrium alginat berkisar 10.000-600.000. Molekul asam alginat berbentuk polimer linier tak bercabang dan disusun lebih kurang 700-1000 residu asam β -D-manuronat (M) dan α -L-guluronat (G). Asam D-manuronat memiliki ikatan diekuatorial $4C_1$ sedangkan asam guluronat memiliki ikatan di aksial $4C_1$ (Wandrey, 2005). Rantai yang terdiri dari 3 segmen polimer yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Alginat (G = Guluronat, M = Manuronat).

2.7.3. Mekanisme interaksi alginat dengan ion logam.

Alginat adalah polimer linier yang terbentuk dari blok D-asam manuronat (M) dan blok L-asam guluronat (G) yang dipisahkan masing-masing oleh unit-unit M dan G. Residu muatan negatif alginat dapat membentuk ikatan ionik dengan kation divalen melalui ikat silang antara rantai alginat yang berbeda. Dengan cara ini terjadi pembentukan ionotropik gel. Umumnya ikat silang yang dipelajari adalah ion kalsium akan tetapi kation yang lain bisa juga digunakan. Beberapa tipe alginate mengandung persentase (G) dan (M) yang berbeda. (G) menunjukkan persentase kation divalen yang kuat dibanding (M), sehingga persentase (G) yang tinggi dalam alginate dapat menyebabkan pembentukan gel yang lebih kuat dibandingkan persentase (M) yang tinggi. Mekanisme ikat silang digambarkan seperti model “egg box” dimana kompleks kation divalen dengan (G) atau (M) dalam bentuk monomer seperti “egg box” (Pistone, S *et all*, 2012).



Gambar 4 : a. Pembentukan Ca-alginat, struktur monomer alginat : Manuronat (M) sebelah kiri dan Guluronat (G) sebelah kanan. b. Struktur *egg box* dari ikat silang antara kation divalen dan monomer G dari dua rantai alginat yang berbeda (Pistone, S *et all*, 2012).

2.7.4. Sifat Alginat

Kelarutan alginat dan kemampuannya mengikat air bergantung pada jumlah ion karboksilat, berat molekul dan pH. Kemampuan mengikat air meningkat jika jumlah ion karboksilat semakin banyak dan jumlah residu kalsium alginat kurang dari 500, sedangkan pada pH dibawah 3 terjadi pengendapan (Mc.Hugh, 2003).

Alginat memiliki sifat-sifat utama :

1. Kemampuan untuk larut dalam air serta meningkatkan viskositas larutan
2. Kemampuan untuk membentuk gel.
3. Kemampuan membentuk film (natrium atau kalsium alginat) dan serat (kalsium alginat) (Wandrey, 2005).

2.7.5. Pembentukan Gel Kalsium Alginat

Gel terbentuk melalui reaksi kimia dimana kalsium menggantikan natrium dalam alginat, mengikat molekul-molekul alginat yang panjang sehingga membentuk gel. Ketika 2 blok G tersusun paralel, terbentuk pola rantai seperti lubang yang sangat ideal untuk pengikatan kalsium. Bentuk ini menyerupai telur dalam kotaknya (*egg in an egg box*) seperti pada Gambar 4.

Proses pembentukan matriks kalsium alginate dapat dilakukan dengan dua metode yaitu difusi dan *internal setting*. Pada metoda difusi, matriks kalsium alginate diperoleh dengan cara menyediakan langsung ion kalsium biasanya dalam bentuk larutan kalsium klorida dan membiarkan ion kalsium dalam larutan berdifusi kedalam tetesan natrium alginate sehingga akan terjadi pautan silang antara ion kalsium dengan alginate dengan cepat.

2.8. Biosorpsi Ion Logam Berat Menggunakan Biosorben Teramobilisasi Dalam Alginat .

Biomassa teramobilisasi alginat telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti amobilisasi alga jenis *Fucus vesiculosus* untuk biosorpsi ion Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) (Mata *et al*, 2009) dimana amobilisasi dapat meningkatkan kinetika penyerapan dan kecepatan difusi antar partikel. Afinitas logam untuk biomassa mengikuti Cu(II)>Pb(II)>Cd(II). Pada biomassa *Scenedesmus quadricauda* teramobilisasi alginat untuk biosorpsi Cu(II), Zn(II) dan Ni(II) menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum yaitu 75,6; 55,2 dan 30,4 mgg⁻¹ untuk masing-masing Cu(II), Zn(II) dan Ni(II). Alga jenis *Chlorella* sp (Jalali *et al.*, 2002), *Chlamydomonas reinhardtii* telah dilakukan dengan cara remediasi (Adhiya *et al*, 2002). Pada biomassa pemakaian substrat dari jamur mushroom untuk biosorpsi logam Cu mengkarakterisasi morfologi permukaan dan komposisi unsur

memperlihatkan terjadinya kompleks $\text{Cu}(\text{NH}_3)_3$ dan $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ antara biosorben dengan ion logam Cu (Jing *et al*, 2014). Pada amobilisasi biomassa jamur *M.arvensis* biosorben mempunyai afinitas yang tinggi untuk menghilangkan Cu(II) dan Zn(II) dari larutan dengan kapasitas serapan maksimum yaitu $104,48 \text{ mgg}^{-1}$ Cu(II) dan $107,75 \text{ mgg}^{-1}$ untuk Zn(II) (Hanif *et al*, 2009).

Adsorpsi ion Cu(II) dan Zn(II) pada biomassa *penicillium sp* teramobilisasi alginat menunjukkan bahwa biosorpsi terjadi pada pH 5 dan waktu kontak 200 menit. Energi aktivasi penyerapan ion Cu(II) ditemukan $19,4 \text{ kJmol}^{-1}$ (Misra, 2003). Amobilisasi sopra jamur pada beberapa matriks juga dilakukan Wuyep *et al* (2007) yang telah mengamobilisasi sel hifa jamur *Polyporos squamosus*. Biosorben ini digunakan untuk biosorpsi ion logam dari limbah minyak. Biosorben mempunyai kemampuan yang besar untuk menghilangkan logam berat karena terdapatnya enzim lignilolitik yang berperan dalam menyerap ion logam. Kapasitas penyerapan beberapa biomaterial yang diamobilisasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Kapasitas serapan maksimum (Q_{maks}) ion logam berat menggunakan biomassa teramobilisasi alginat.

Biomassa alginat	Teramobilisasi	Ion Logam	Q_{maks} (mgg^{-1})	Referensi
Alga <i>Fucus vesiculosus</i>		Cu^{2+}	0,617	Mata <i>et al</i> (2009).
		Pb^{2+}	2,26	
		Cd^{2+}	0,579	
Mikro alga <i>Sqenedesmus quadricauda</i>		Cu^{2+}	75,6	Bayramoglu and Arica, (2009).
		Zn^{2+}	55,2	
		Ni^{2+}	30,4	
<i>Mentha arvensis</i>		Cu^{2+}	104,48	Hanif <i>et al</i> (2009).
		Zn^{2+}	107,75	
Substrat musroom <i>Penicilium sp</i>		Cu^{2+}	50,0	Xio-Jing <i>et al</i> (2014); Misra (2013).
		Cu^{2+}	17,2	
		Zn^{2+}	19,1	
Moringa Oleifera		Cu^{2+}	67,7	Frano <i>et al</i> (2013).
		Cd^{2+}	60	
Pori Kalsium alginat		Cd^{2+}	182	Nita <i>et al</i> (2007).
		Pb^{2+}	167	
Mycelia <i>poliporus squamosus</i>		Cr^{3+}	34,4	Wuyup <i>et al</i> (2007).
		Mn^{2+}	23,4	
		Fe^{3+}	153,04	
		Ni^{2+}	131,092	

	Cu ²⁺	23,72	
	Pb ²⁺	17,94	
<i>Solanum nigrum</i> L	Zn ²⁺	144,72	Indrasti dkk (2009).
Alga <i>Chlorella kessleri</i>	Cu ²⁺	37,24	Horvathova <i>et al</i> (2009).
	Zn ²⁺	40,23	
<i>Pycnoporous sanguinensis</i>	Cu ²⁺	2,774	Yahaya <i>et al</i> (2009).
<i>Laminaria digitata</i>	Pb ²⁺	372,38	Papageorgiou <i>et al</i>
	Cu ²⁺	87,39	(2009).
	Cd ²⁺	129,95	
Yeast	Cu ²⁺	1,004	Apinthanapong and
			Phensaijing (2009).
<i>Penicilium citrinum</i>	Cu ²⁺	25,0	Verma <i>et al</i> (2013).
<i>Aspergillus niger</i>	Cu ²⁺	34,13	Tsekova <i>et al</i> (2010).
	Cd ²⁺	60,24	
Shea butter cake	Cu ²⁺	161,29	Yahya <i>et al</i> (2013).
Eceng gondok	Cu ²⁺	61,0	Mahamadi (2012)

2.9.1. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi dipelajari untuk memahami dinamika adsorpsi ion logam pada biomaterial dan untuk memprediksikan jumlah yang terserap dengan perlakuan waktu. Informasi ini dapat digunakan untuk *scale up* sistem dalam skala besar (Dang *et al*, 2009). Kinetika pseudo first order dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_1(Q_e - Q_t) \quad (2)$$

Dimana Q_t dan Q_e adalah jumlah ion logam yang terserap pada biosorben pada waktu t dan kesetimbangan, k_1 adalah konstanta kecepatan biosorpsi. Dengan mengintegrasikan persamaan 2 dan rearsen persamaan, maka kinetika pseudo first order dapat ditulis sebagai berikut:

$$\ln(Q_e - Q_t) = -k_1 t + \ln Q_e \quad (3)$$

Plot $\ln(Q_e - Q_t)$ terhadap t memberikan garis lurus dengan slope $-k_1$ dan intersep $\ln Q_e$ (Dang *et al*, 2009).

Persamaan pseudo second-order sering digunakan untuk menganalisis proses adsorpsi. Persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_2 (Q_e - Q_t)^2 \quad (4)$$

Persamaan ini diasumsikan bahwa orde kinetik adalah dua, kecepatan reaksi sesuai dengan jumlah sisi aktif biomassa yang tersedia untuk pertukaran ion dipangkatkan 2. Bentuk persamaan linier dari pseudo second order dapat ditulis :

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t \quad (5)$$

Dengan memplotkan hubungan antara t/Q_t terhadap t didapatkan persamaan linier dengan slope $1/Q_e$ dan intersep $1/k_2 Q_e^2$ (Dang *et al*, 2009).

Pada model pseudo first-order dan pseudo second-order, kecepatan reaksi ke kanan (penempatan sisi aktif) sebanding dengan jumlah sisi yang tidak ditempati dan konsentrasi adsorbat, sedangkan kecepatan reaksi ke kiri (desorpsi) sebanding dengan sisi yang ditempati (oleh adsorbat). Apabila konsentrasi awal adsorbat tinggi maka hasil yang didapatkan mengikuti reaksi pseudo first order, jika konsentrasi awal adsorbat rendah maka hasil yang didapat mengikuti reaksi pseudo second-order (Liu dan Liu, 2008).

Persamaan Elovich dibuat oleh Zeldowitsch dapat ditulis sebagai berikut (Ho dan Mckay, 2009; Adebayo *et al*, 2012) :

$$\frac{dQ_t}{dt} = \alpha \exp^{(-\beta Q_t)} \quad (6)$$

α dan β adalah konstanta Elovich. Konstanta α dapat digambarkan sebagai kecepatan awal karena $dQ_t = \alpha$ bila $Q_t = 0$.

Untuk menyederhanakan persamaan Elovich, Chien and Clayton (1980) mengasumsikan bahwa $\alpha\beta t \gg 1$ dan dengan $Q_t = 0$ pada $t = 0$ dan $Q_t = Q_t$ pada $t = t$ maka diperoleh persamaan

$$Q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (7)$$

Keterangan :

α = Kecepatan adsorpsi mula-mula ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$)

β = Koefisien Elovic berkaitan dengan penutupan permukaan dan energi aktivasi untuk *chemisorpsi* (g mg^{-1}) (Witek-Krowiak *et al*, 2011).

2.10. Isoterm Adsorpsi

Isotherm adsorpsi menggambarkan hubungan antara jumlah adsorbat yang diserap oleh adsorben dan konsentrasi sisa adsorbat dalam larutan. Isoterm ini diturunkan dari konsentrasi pada saat kesetimbangan untuk interaksi adsorben dengan adsorbat. Data penyerapan ion Pb^{2+} , Cd^{2+} dan Zn^{2+} dengan menggunakan biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi dalam Ca-alginate dalam keadaan

setimbang dapat dievaluasi dengan menggunakan model adsorpsi isotherm Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) dan Temkin.

Isoterm adsorpsi model Langmuir menjelaskan bahwa permukaan penyerap terdapat sejumlah site aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada site aktif hanya satu molekul yang dapat diserap, sehingga dengan memperbesar konsentrasi zat terserap yang berintraksi dengan biomassa yang beratnya tetap akan menghasilkan serapan logam yang akan meningkat secara linier sampai konsentrasi tertentu (Liu dan Liu, 2008). Isoterm Langmuir dapat digambarkan melalui persamaan berikut:

$$Q_e = \frac{K_L \cdot Q_m \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (8)$$

Bentuk persamaan liniernya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{K_L \cdot Q_{\max}} + \frac{1}{Q_{\max}} \cdot C_e \quad (9)$$

Dimana Q_e adalah kapasitas adsorpsi (mgg^{-1}) pada kesetimbangan, C_e adalah konsentrasi pada saat setimbang (mgL^{-1}), $Q_{\max}$ adalah kapasitas adsorpsi maksimum (mgg^{-1}), K_L adalah konstanta kesetimbangan Langmuir. Kurva linieritas Langmuir diperoleh dengan memplotkan antara C_e terhadap C_e/Q_e .

Isoterm adsorpsi model Freundlich dapat digunakan untuk adsorpsi tidak ideal yang heterogen. Persamaan umum isotherm Freundlich :

$$Q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (10)$$

Bentuk persamaan linier dari model ini adalah :

$$\ln Q_e = \ln K_F + 1/n \ln C_e \quad (11)$$

Keterangan :

K_F = Konstanta adsorpsi Freundlich

n = afinitas adsorpsi.

Jika nilai $n > 1$ menunjukkan bahwa penyerapan lebih disukai, heterogen dan terjadi secara kimia, $n = 1$ adsorpsi isotherm adalah linier (Awwad, 2012).

Isoterm yang lebih umum adalah Dubinin-Ruduskevich (D-R) karena tidak mengasumsikan tentang permukaan yang homogen atau potensi konstanta penyerapan. Isoterm ini biasanya digunakan untuk membedakan adsorpsi fisika dan kimia dari ion logam. Isoterm D-R dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\ln Q_e = \ln Q_D - \beta \varepsilon^2 \quad (12)$$

Keterangan :

β = Konstanta isotherm ($\text{mol}^2\text{J}^{-2}$)

Q_D = Kapasitas penyerapan maksimum secara teori (mgg^{-1})

ε = Potensial Polanyi

ε Potensial Polanyi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (13)$$

Dimana : R = Konstanta gas ($8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$)

T = Temperatur absolut ($^{\circ}\text{K}$).

Energi bebas E per molekul adsorbat untuk menghilangkan molekul dari tempat penyerapan kedalam infiniti dalam Jmol^{-1} dapat dihitung sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{(2\beta)^{1/2}} \quad (14)$$

Proses adsorpsi termasuk fisika jika $E < 8 \text{ kJmol}^{-1}$ dan kimia jika E antara $8-16 \text{ kJmol}^{-1}$ (Gupta, 2012).

Isoterm Temkin mengandung faktor yang berkaitan dengan interaksi adsorben-adsorbat. Dengan mengabaikan nilai konsentrasi yang sangat rendah dan yang besar, isoterm Temkin mengasumsikan bahwa panas adsorpsi (fungsi temperatur) dari semua molekul dalam lapisan akan menurun dengan bertambahnya “coverage” secara linier dan bukan secara logaritma. Penurunan rumusan ini ditandai dengan pembagian energi ikatan secara seragam, yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Xiong *et al*, 2010).

$$Q_e = \frac{RT \ln C_e}{b_T} + \frac{RT \ln k_T}{b_T} \quad (15)$$

Keterangan :

k_T = Konstanta isotherm Temkin (Lg^{-1})

b_T = Konstanta isotherm Temkin yang berkaitan dengan panas adsorpsi (kJmol^{-1}).

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Analisa Lingkungan FMIPA UNAND, Laboratorium Kopertis Wilayah X, Laboratorium Farmasi UNAND, Laboratorium Teknik UNAND, Lab Fisika UNP Padang. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2014 – Agustus 2016.

3.2. Bahan dan Alat

a. Bahan- Bahan :

Bahan bahan kimia yang digunakan dalam bentuk kemurnian tinggi (pa) yaitu larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (1000 mg/L dalam HNO_3 0,5M) keluaran Merck, Na-alginate, HNO_3 (Merck) NaOH (Merck), NH_4OH (Merck), CaCl_2 (Merck) dan sampel biji durian.

b. Alat-alat :

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kertas saring, labu ukur, erlenmeyer, pipet gondok, pipet takar, botol vial, timbangan analitis (Kern & Sohn GmbH), shaker (Edmund Buhler 7400 Tubingen), Crusher (Fritsch, Germany), mortal grinding (Fritsch, Germany), Seperangkat alat gelas kimia, pH meter (Metrohm), *shaker bath* dengan pengontrol suhu, magnetig stirrer, lumpang porselen, ayakan saringan 71 μm , Fourier Transform Infra Red (Unican Mattson Mod 7000 FTIR spectrometer using KBr pellets), Scanning Electron Microscope (Hitachi, SU 3500), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS; Varian SpectrAA-240 spectrometer) dan XRF (PANalytical).

3.3. Prosedur Kerja :

3.3.1. Preparasi Sampel Biji Durian

Sampel biji durian dikumpulkan dari pedagang penjual durian di Lokasi Depan RS. Reksodiwiryono Padang. Sampel dibersihkan dan dicuci dengan air sampai sisa daging buah durian bersih. Sampel dipotong-potong tipis dengan ukuran 1-2 cm, kemudian sampel dikering anginkan di temperature ruang sampai kering. Sampel yang telah kering digiling halus menggunakan penggiling gerinda dan di ayak dengan ukuran partikel 71 μm .

3.3.2. Pretreatmen Biomaterial Dengan Asam HNO_3 0,01 M

Sebanyak 20 gr serbuk biomassa biji durian ditreatmen dengan HNO_3 0,01M dengan perbandingan 1: 10. Campuran dishaker selama 2 jam dengan kecepatan 100 rpm. Biomaterial yang telah ditreatmen disaring dan dicuci berulang kali dengan akuades sampai pH filtrat sekitar 6-7. Biomaterial dikeringkan di oven selama 24 jam pada suhu 60°C . Kemudian di haluskan kembali dengan lumpang dan di ayak untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam yaitu 71 μm .

3.3.3. Amobilisasi Serbuk Biji Durian Pada Alginat

Prosedur didasarkan kepada metode Referensi Mahamadi C and P. Zambara (2010). Larutan polimer alginat 2% dibuat dengan melarutkan 2 g alginat dalam 100 mL larutan deionisasi dan selanjutnya di agitasi selama 4-6 jam dengan magnetic stirrer pada kecepatan 100 rpm. Untuk membuat larutan polimer homogen, 2 g biomassa serbuk biji durian dicampurkan dengan 100 mL larutan alginat 2%, selanjutnya larutan campuran biji durian-alginat dijadikan kedalam bentuk bead dengan cara meneteskan larutan campuran alginat-biji durian kedalam larutan CaCl_2 0,1M secara gravimetri dengan menggunakan siringe. Bead yang terbentuk dikeraskan dalam larutan CaCl_2 2% selama 24 jam. Selanjutnya bead dicuci dengan air destilasi sambil distirer dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit dan di ulang 3-5 kali sampai pH larutan netral. Bead dikeringkan pada suhu kamar dan disimpan dalam wadah tertutup.

3.4. Proses Biosorpsi Ion Logam Secara Batch Menggunakan Biosorben SBD non-amobilisasi, SBD-teramobilisasi Ca-alginat dan Ca-alginat sebagai amobilikator,

3.4.1. Penentuan Kondisi Optimum pH larutan

Masing-masing sebanyak 20 mL larutan ion Pb(II) , Cd(II) dan Zn(II) dengan konsentrasi 10 mgL^{-1} dimasukan kedalam Erlenmeyer 50 mL. Kemudian diatur pH larutan 2-7 dengan menambahkan NaOH 0,01M atau HNO_3 0,01M. Kemudian dimasukan masing-masing sebanyak 0,1 g biosorben serbuk biji durian ukuran partikel 71 μm kedalam larutan ion logam. Campuran larutan digoyang

dengan shaker pada kecepatan 150 rpm selama 60 menit. Kemudian larutan dipisahkan dari biosorben dengan cara penyaringan dengan kertas saring dan konsentrasi larutan sisa di ukur dengan AAS. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap biosorben biji durian teramobilisasi dalam Ca-alginat dan Ca-alginat amobilikator.

3.4.2. Penentuan Waktu kontak optimum

Masing-masing sebanyak 20 mL larutan ion-ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan konsentrasi 10 mgL^{-1} dimasukan kedalam Erlenmeyer 50 mL. Kemudian diatur pH larutan pada pH optimum dengan menambahkan NaOH 0.01M atau HNO_3 0,01M. Kemudian dimasukan masing-masing sebanyak 0,1 g biosorben serbuk biji durian ukuran partikel 71 um kedalam larutan ion logam. Campuran larutan digoyang dengan shaker pada kecepatan 150 rpm pada waktu 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120 dan 150 menit. Kemudian larutan dipisahkan dari biosorben dengan cara penyaringan dengan kertas saring dan konsentrasi larutan sisa di ukur dengan AAS. Hal yang sama dilakukan terhadap biosorben biji durian teramobilisasi dalam Ca-alginat dan Ca-alginat amobilikator.

3.4.3. Penentuan Konsentrasi Optimum

Masing-masing sebanyak 20 mL larutan ion-ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan variasi konsentrasi $10\text{-}300 \text{ mgL}^{-1}$ dimasukan kedalam Erlenmeyer 50 mL. Kemudian diatur pH larutan pada pH optimum dengan menambahkan NaOH 0.01M atau HNO_3 0,01M. Kemudian dimasukan masing-masing biosorben massa optimum dengan biosorben serbuk biji durian ukuran partikel 71 um kedalam larutan ion logam. Campuran larutan digoyang dengan shaker pada waktu kontak optimum dengan kecepatan putaran optimum. Kemudian larutan dipisahkan dari biosorben dengan cara penyaringan dengan kertas saring dan konsentrasi larutan sisadi ukur dengan AAS.

Perlakuan yang sama dilakukan untuk biosorben biji durian teramobilisasi dalam Ca-alginat dan Ca-alginat amobilikator.

3.4.4. Pengaruh Suhu Larutan Terhadap Termodinamika Biosorpsi

Masing-masing sebanyak 20 mL larutan ion-ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan range konsentrasi 10-300 mgL⁻¹ optimum dimasukan kedalam Erlenmeyer 50 mL, kemudian pH larutan diatur pada pH optimum dengan NaOH 0.01M atau HNO₃ 0,01M. Kemudian dimasukan masing-masing biosorben serbuk biji durian massa optimum ukuran partikel 71 um kedalam larutan ion logam. Campuran larutan digoyang dengan shaker water bath pada suhu 25 °C, 35 °C dan 45 °C pada waktu kontak optimum dengan kecepatan pengadukan optimum. Kemudian larutan dipisahkan dari biosorben dengan cara penyaringan dengan kertas saring dan konsentrasi larutan sisa di ukur dengan AAS. Hal yang sama dilakukan untuk biosorben biji durian teramobilisasi dalam Ca-alginat dan Ca-alginat amobilikator.

3.4.5. Penentuan Keseimbangan Isoterm Adsorpsi.

Isoterm adsorpsi dipelajari menggunakan model Isoterm Langmuir, Freunlich, Temkin dan Dubinin Raduskevich (D-R). Untuk menentukan isoterm adsorpsi di ambil dari data variasi konsentrasi larutan. Data yang diperoleh di analisis dengan menggunakan persamaan Isoterm Langmuir, Freundlich, Temkin dan D-R pada berbagai temperature, kemudian dihitung nilai konstanta Langmuir, Freunlich, Temkin dan D-R serta nilai Koefisien regresi (r^2). Dari data analisis isoterm adsorpsi yang diperoleh maka dapat ditentukan model isotherm yang sesuai.

3.4.6. Studi Termodinamika

Percobaan untuk mempelajari termodinamika adsorpsi dilakukan dengan mengontakkan 0,1 g biomassa dengan 20 mL larutan ion logam pada konsentrasi optimum pada temperatur konstan 27°C, 35°C dan 45°C dalam waterbatch shaker dengan kecepatan 150 rpm selama waktu optimum masing-masing ion logam. Setelah mencapai kesetimbangan larutan disaring dan filtrat di analisis dengan AAS. Parameter termodinamika yang ditentukan yaitu perubahan entalpi (ΔH°), perubahan energi bebas Gibbs (ΔG°) dan perubahan entropi (ΔS°).

3.5. Desorpsi ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben biji durian teramobilisasi Ca-alginat.

Untuk mempelajari desorpsi ion logam pada biji durian teramobilisasi dalam Ca-alginate digunakan zat pendesorpsi HNO_3 dengan variasi konsentrasi 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; dan 1,5M. Masing-masing biosorben biji durian-alginat yang mengandung ion logam didesorpsi menggunakan 20 mL HNO_3 M dengan variasi konsentrasi, larutan di-shaker selama waktu optimum adsorpsi masing-masing ion logam. Kemudian larutan disaring dan filtrat yang mengandung ion logam yang terdesorpsi diukur kembali dengan AAS. Selisih jumlah ion logam yang terserap dengan ion logam yang terdesorpsi dihitung sebagai % desorpsi (Choi and Yun, 2004) :

$$\% \text{ Desorpsi} = \frac{C_{\text{terserap}} - C_{\text{desorpsi}}}{C_{\text{terserap}}} \times 100 \%$$

3.6. Analisis Multikomponen Ion Logam

Pada beberapa buah Erlenmeyer yang telah disiapkan dimasukkan masing-masing 0,1 g biomassa dan ditambahkan 20 mL larutan campuran $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ untuk diencerkan dalam labu ukur 25 mL. Dalam hal ini dibuat 3 set percobaan yaitu :

- Konsentrasi Pb(II) tetap sebesar 200 mgL^{-1} dan konsentrasi Zn(II) dan Cd(II) divariasikan dari 0; 50; 100; 150 dan 200 mgL^{-1} . Pada larutan kuarternier ini diperlakukan kondisi optimum Pb(II), dengan ion utamanya adalah ion Pb(II). Larutan dikontakan dengan biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat pada kondisi optimal Pb(II), setelah itu larutan disaring dan filtratnya untuk semua ion logam di analisis dengan SSA.
- Konsentrasi Cd(II) tetap sebesar 200 mgL^{-1} dan konsentrasi Pb(II) dan Zn(II), divariasikan dari 0, 50, 100, 50 dan 200 mgL^{-1} . Pada larutan kuarternier ini diperlakukan kondisi optimum Cd(II), dengan ion utamanya adalah ion Cd(II). Larutan dikontakkan dengan biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat, setelah itu larutan disaring dan filtratnya untuk semua ion logam di analisis dengan SSA.
- Konsentrasi Zn(II) tetap sebesar 200 mgL^{-1} dan konsentrasi Pb(II) dan Cd(II) divariasikan dari 0, 50, 100, 50 dan 200 mgL^{-1} . Pada larutan kuarternier ini

diperlakukan kondisi optimum Zn(II), dengan ion utamanya adalah ion Zn(II). Larutan dikontakkan dengan biosorben SBD_amobilisasi Ca-alginat pada kondisi optimal Zn(II). Setelah itu larutan disaring dan filtratnya untuk semua ion logam di analisis dengan SSA.

3.7. Analisis Karakteristik Dari Biosorben biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi Ca-alginat.

Karakteristik dari biosorben SBD-non amobilisasi dan SBD-amobilisasi Ca-alginat diukur sebelum dan setelah berinteraksi dengan ion logam. Untuk identifikasi gugus fungsi di ukur dengan instrument FTIR, morfologi permukaan biosorben dengan SEM, analisis unsur dengan EDX dan analisis logam beserta oksida logam dengan instrument XRF.



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Biosorben Serbuk Biji Durian (SBD) Teramobilisasi Dalam Ca-Alginate.

Biosorben SBD teramobilisasi kedalam Ca-alginate dilakukan untuk memperoleh biosorben yang mempunyai sifat mekanik kuat, tahan dalam larutan asam, serta mudah untuk melakukan proses pemisahan antara biosorben dan limbah, meminimalkan clogging, dapat meningkatkan kapasitas penyerapan serta dapat dilakukan proses biosorpsi secara berulang (reuse dan regenerasi biosorben (Brady dan Duncan, 1994).

Serbuk Biji Durian (SBD) diamobilisasikan kedalam alginate 2% dengan perbandingan massa 1:1 dengan cara ditetaskan kedalam larutan Ca-alginate 0,2 M untuk membentuk bead dengan bantuan syringe. Bead yang dihasilkan dengan diameter 1 mm. Kemampuan biosorben untuk penyerapan ion logam dipelajari dalam bentuk dry bead dan dibandingkan terhadap SBD non amobilisasi. Serbuk biji durian dan amobilisasi serbuk biji durian dalam Ca-alginate dalam bentuk dry bead dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b. Biosorben yang teramobilisasi dalam Ca-alginate dry bead mempunyai struktur yang lebih kuat, rigid dan apabila dikontakan dengan ion logam dalam larutan maka biosorben akan mudah dipisahkan pada proses penyaringan tanpa menggunakan kertas saring karena ukuran agregat yang lebih besar dan sifat mekanik yang cukup kuat dalam larutan (Brady dan Duncan, 1994).



Gambar 5. Biosorben SBD-non amobilisasi (a) dan amobilisasi Ca-alginate (b)



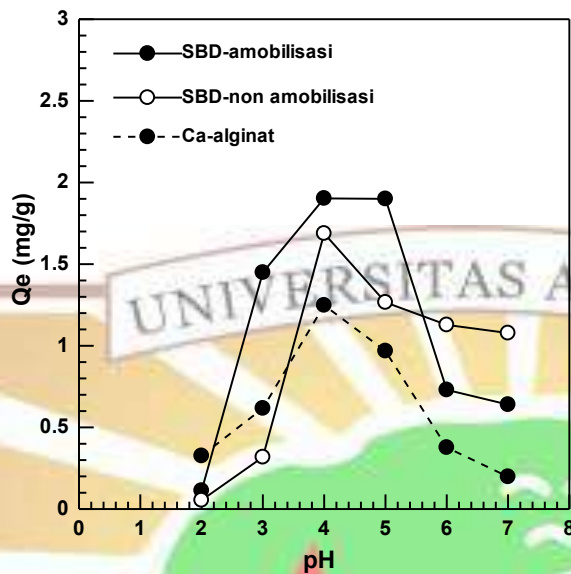
Gambar 6. Biosorben biji durian yang dikontakan dengan ion logam dalam bentuk non amobil (a) dan teramobilisasi Ca-alginat (b).

Untuk melihat interaksi dalam larutan antara biosorben biji durian teramobilisasi Ca-alginat dan non amobilisasi dapat dilihat pada Gambar 6a dan 6b. Dari Gambar 6a dan 6b dapat terlihat bahwa biosorben biji durian non amobilisasi yang dikontakkan kedalam larutan menyebabkan larutan menjadi keruh, hal ini disebabkan karena terjadinya kontak langsung antara serbuk biji durian dengan larutan, sedangkan biosorben teramobilisasi Ca-alginat larutan tetap bening, karena serbuk biji durian tidak berkontak langsung dengan larutan, tapi berada dalam suatu polimer Ca-alginat alginate yang tidak larut dalam air.

4.2. Pengaruh pH Terhadap Penyerapan Ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II)

4.2.1. Ion Logam Pb(II).

pH awal larutan merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk mempelajari proses biosorpsi logam (Ting Fan *et al*, 2008). Hal ini berhubungan dengan kemampuan kompetisi ion hidrogen dengan sisi aktif pada permukaan biosorben (Verma *et al*, 2013). Pengaruh pH larutan terhadap biosorpsi ion logam Pb(II) pada biosorben serbuk biji durian non amobilisasi, dan teramobilisasi dalam alginat telah dipelajari dan hasilnya diberikan pada Gambar 7. Dari Gambar 7 terlihat bahwa biosorpsi pada pH yang rendah (2-3) memberikan kapasitas penyerapan yang lebih rendah, hal ini karena terjadinya kompetisi antara ion hidrogen dengan ion logam pada bagian sisi aktif penyerapan dengan jumlah ion hidrogen yang lebih besar membatasi penyerapan ion logam (Saikaew 2010, Awwad *et al* 2012, Sari and Tuzen, 2009).



Gambar 7. Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penyerapan Pb(II). (Konsentrasi awal = 10 mg/L, vol larutan = 20 mL, ukuran partikel SBD non-amobil = 72 μm , massa = 0,1 g, waktu kontak = 60 menit, kecepatan pengadukan = 150 rpm).

Untuk pH larutan ion Pb(II) dipelajari dari 2-7. Kapasitas penyerapan ion Pb(II) pada biosorben SBD-non amobil diperoleh $1,688 \text{ mgg}^{-1}$ pada pH 4 dan pada SBD-teramobilisasi dalam alginat diperoleh $1,9026 \text{ mgg}^{-1}$ pada pH 4-5. pH optimum untuk biosorben teramobilisasi dalam bentuk amobilisasi sama dengan pH pada SBD-non amobilisasi. Nilai kapasitas penyerapan terhadap ion Pb(II) pada biosorben SBD-amobilisasi lebih besar dari pada biosorben non amobilisasi disebabkan karena biosorben non amobil mempunyai nilai kapasitas penyerapan yang cukup tinggi, kemudian dengan di amobilisasikan kedalam alginat maka akan dapat meningkatkan kapasitas penyerapan karena alginat sendiri juga memberikan kontribusi penyerapan seperti yang terlihat pada Gambar 7.

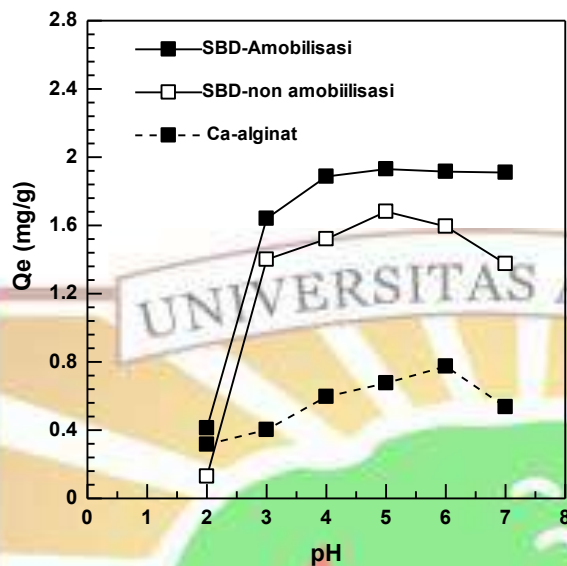
Alginat merupakan senyawa yang banyak mengandung karboksilat, sehingga pada permukaan biosorben lebih banyak terdapat gugus karboksil dan hidroksil. Gugus fungsi karboksilat akan dapat berikatan dengan ion logam Pb(II) pada kondisi pH 4-6 karena pada pH ini sisi aktif pada permukaan akan terekspos dan meningkatkan muatan negatif dari karboksilat menjadi COO^- sehingga dapat meningkatkan kapasitas penyerapan ion Pb(II) (Hanif *et al*, 2009). Pada pH diatas 6 kapasitas penyerapan berkurang, hal ini dapat disebabkan karena terbentuknya

endapan hidroksida dari Pb menjadi Pb(OH)_2 sehingga ion logam Pb berkurang dalam larutan (Anayurt *et al*, 2009).

Kurniawan *et al* (2015) melakukan penyerapan ion Pb(II) pada kulit dan biji lengkeng, diperoleh pH optimum 5 pada kulit dan 3 pada biji dengan kapasitas penyerapan 0.9691 mgg^{-1} dan 0.7560 mgg^{-1} berturut-turut. Castro *et al* (2012) juga telah melakukan ion Pb(II) pada kulit pisang dan mendapatkan kondisi optimalnya pada pH 5. Subbaiah *et al* (2011) telah melakukan penyerapan Pb(II) menggunakan bead blended biji sago-kitosan, pH optimum ion Pb(II) diperoleh pada pH 5, serta Subbaiah *et al* (2011) menggunakan biomassa fungus (*Trameter versicolor*) untuk penyerapan Pb(II) , kondisi pH optimum juga 5, sementara Mata *et al*, (2009) telah melakukan biosorpsi ion Pb(II) menggunakan Ca-alginat xerogel dan *Fucus vesiculosus* teramobilisasi alginate dan menemukan pH optimum 4,89 pada alginat xerogel dan 4,96 pada biomassa teramobilisasi. Areco *et al* (2010) telah melakukan biosorpsi Pb(II) menggunakan *Gymnogongrus torulosus* dan mendapatkan kondisi pH optimal penyerapan Pb(II) pada pH 5,5. Secara umum gugus fungsi asam yang terlibat dalam proses biosorpsi Pb terjadi pada pH 4-5 (Schiewer dan Balaria, 2009).

4.2.2. Ion Logam Cd (II).

Pengaruh penyerapan ion logam Cd(II) pada biosorben dipelajari dari pH 2-7 dan hasil dapat dilihat pada Gambar 8. Kapasitas penyerapan Cd(II) oleh biosorben SBD-non amobil diperoleh $1,681 \text{ mgg}^{-1}$ pada pH 5 dan pada biosorben teramobilisasi alginat $1,930 \text{ mgg}^{-1}$ pada pH 5. pH berhubungan langsung dengan kompetisi antara ion hidrogen dengan sisi aktif pada permukaan biosorben. Secara umum biosorpsi ion logam melibatkan mekanisme kompleks seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks *chelate* atau pengendapan. Pada kondisi sangat asam (pH 2) muatan pada semua permukaan yang terdapat sisi aktif menjadi positif dan ion logam berkompetisi dengan ion hydrogen untuk berikatan dengan sisi aktif di dinding sel sehingga menyebabkan kapasitas penyerapan menjadi rendah. Permukaan biosorben menjadi bermuatan negatif apabila pH larutan dinaikan menjadi 3-7, dimana gugus fungsi terdeprotonasi dan selanjutnya dapat mengikat ion logam lebih banyak lagi (Munagapati, 2010).

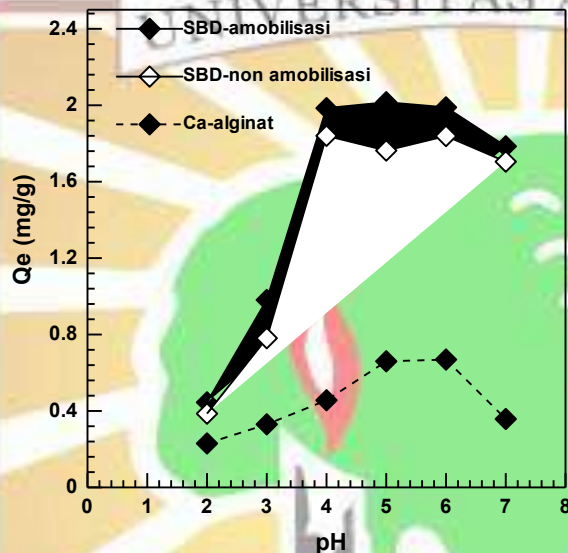


Gambar 8. Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penyerapan Cd(II). (Konsentrasi awal = 10 mgL^{-1} , vol larutan = 20 mL, ukuran partikel SBD = 72 μm , massa = 0,1 g, waktu kontak = 60 menit, kecepatan pengadukan = 150 rpm).

Penelitian terkait yang mempelajari biosorpsi ion Cd(II) yaitu penggunaan Rice straw dan diperoleh pH optimum yaitu pada pH 5 dengan efisiensi penyerapan 47% (El-Sayed *et al*, 2010). Liang Xu dan Zhuang (2014) telah melakukan penyerapan Cd(II) menggunakan kulit kacang termodifikasi dan diperoleh pH optimum untuk Cd(II) pada pH 8. Lopez-Mesas (2011) melakukan pemisahan Cd(II) dan Pb(II) dari larutan menggunakan biomassa limbah cork dan diperoleh pH optimum Cd(II) pada pH 5. Sari dan Tuzen (2008) melakukan biosorpsi Cd(II) menggunakan alga merah (*Ceramium virgatum*) diperoleh pH optimum Cd(II) yaitu pada pH 5. Rathinam *et al* (2010) mempelajari biosorpsi Cd(II) menggunakan biomassa makro alga (*Hypnea valentiae*) dan menemukan pH optimum yaitu pada pH 6 dengan kapasitas penyerapan $16,89 \text{ mgg}^{-1}$. Ilamathi *et al* (2014) melakukan biosorpsi ion Cd(II) dalam fluida padat-cair menggunakan consortia teramobilisasi alginate dan menemukan pH optimum penyerapan Cd pada pH 4.

4.2.3. Ion Logam Zn(II)

Pengaruh pH pada biosorpsi ion logam Zn(II) dilakukan pada pH 2-7 dan hasil dapat dilihat pada Gambar 9. Kapasitas penyerapan Zn(II) pada SBD-non amobil diperoleh 1,84 mgg^{-1} pada pH 4 dan pada SBD-amobilisasi Ca-alginat diperoleh kapasitas penyerapan 1,985-2,016 mgg^{-1} pada pH 4-5.



Gambar 9. Pengaruh pH larutan terhadap kapasitas penyerapan Zn(II). (Konsentrasi awal = 10 mgL^{-1} , vol larutan = 20 mL, ukuran partikel SBD = 72 μm , massa = 0,1 g, waktu kontak = 60 menit, kecepatan pengadukan = 150 rpm).

Pada pH rendah (2-3) sisi aktif pada permukaan biosorben bermuatan positif sehingga terjadi kompetisi antara ion H^+ dengan ion logam Zn(II) untuk dapat berikatan dengan site aktif biosorben. Alginat mengandung gugus fungsi karboksil dan biomaterial juga terdapat sisi aktif dengan gugus fungsi karboksil dan hidroksil. Pada pH rendah gugus $-\text{COOH}$ menjadi COOH^{2+} sehingga menghalangi ion Zn(II) terikat pada sisi aktif. Apabila pH larutan dinaikan menjadi 4-6 maka terjadi peningkatan kapasitas penyerapan ion Zn(II). Hal ini disebabkan karena dengan dinaikan pH larutan maka sisi aktif pada permukaan biosorben akan bermuatan negatif dan berinteraksi dengan ion Zn(II) pada permukaan sel (Tabarki *et al*, 2013), sehingga akan lebih banyak ion Zn(II) terserap. Apabila pH larutan di atas 6 maka akan terbentuk endapan hidroksida

Zn(II) dan mengurangi ion Zn(II) dalam larutan sehingga kapasitas penyerapan menjadi berkurang. pH optimal yang digunakan untuk percobaan selanjutnya yaitu pH 5 pada biosorben SBD-amobilisasi dan pH 4 pada biosorben SBD-non amobil.

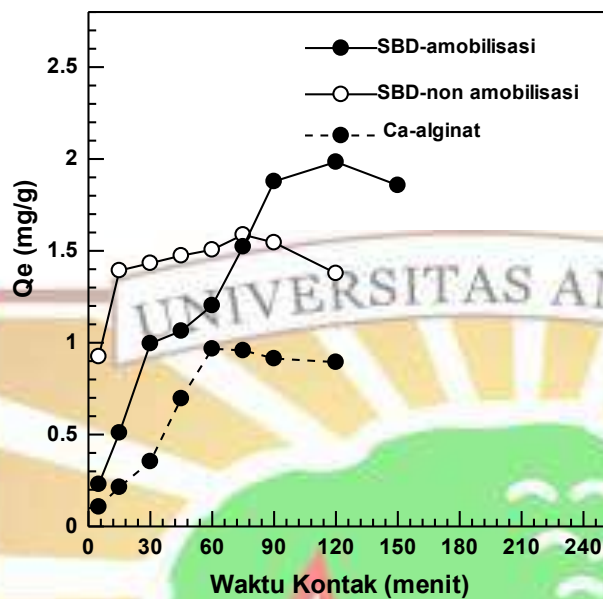
Biosorpsi ion Pb(II), Cu(II), Cu(II) dan Zn(II) telah dilakukan pada biomassa green alga *ulva lactuca* (Areco *et al*, 2012) dan mendapatkan pH optimal untuk ke empat ion logam pada pH 5.5. Osasona *et al* (2013) melakukan biosorpsi Zn menggunakan serbuk *Cow Hooves* dan mendapatkan pH optimal penyerapan Zn pada pH 4 dengan efisiensi serapan 94,5%. Biosorpsi Zn pada daun *Andrographis paniculata* diperoleh pada pH 6 dengan $Q_e = 1,20 \text{ mgg}^{-1}$ (Deli *et al*, 2015).

4.3. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Penyerapan Ion Logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II).

Kecepatan adsorpsi merupakan hal sangat penting dalam membuat model dan design proses adsorpsi di industri (Akbari *et al*, 2015). Pada proses biosorpsi, biosorben mencapai keadaan jenuh dan selanjutnya sorbat yang terserap dapat terlepas kembali ke dalam larutan. Biasanya kecepatan adsorpsi dan desorpsi akan mencapai keadaan kesetimbangan. Bila sistem penyerapan mencapai keadaan kesetimbangan maka kapasitas penyerapan setelah itu akan menjadi berkurang (Montazer *et al*, 2011). Waktu mencapai keadaan kesetimbangan dipelajari dengan memvariasikan waktu kontak larutan dengan biosorben dari waktu 5 menit sampai 150 menit.

4.3.1. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Ion Pb(II).

Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion logam Pb(II) dapat dilihat pada Gambar 10. Dari Gambar 10 dapat terlihat bahwa waktu kontak akan mempengaruhi terhadap kapasitas penyerapan. Waktu yang dibutuhkan untuk biosorben amobil sedikit lebih lama dibanding biosorben non amobil. Pada biosorben amobil dibutuhkan waktu 120 menit dengan kapasitas penyerapan $1,875 \text{ mgg}^{-1}$, pada biosorben non amobil waktu kontak 75 menit dengan $Q_e = 1,6208 \text{ mgg}^{-1}$.



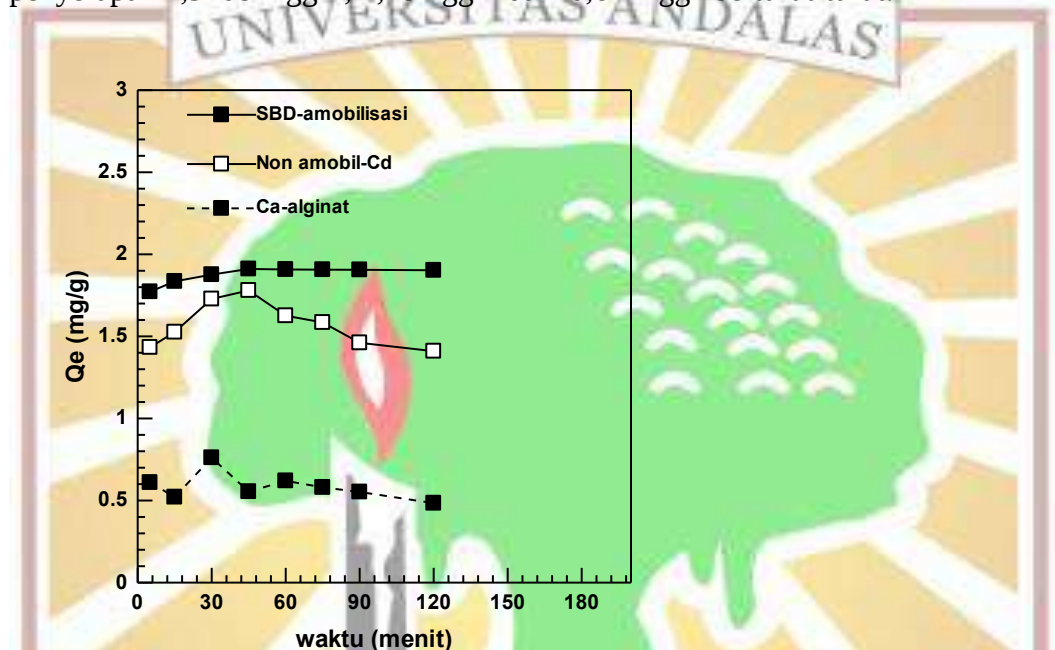
Gambar 10. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Pb (pH 4 pada non amobilisasi, amobilisasi dan Ca-alginat, massa biosorben = 0,1g konsentrasi awal = 10 mgL^{-1} , Kecepatan pengadukan = 150 rpm).

Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan kesetimbangan untuk biosorben teramobilisasi dalam Ca-alginat karena terjadinya proses difusi dari larutan bulk menuju permukaan biosorben cukup lama dimana biosorben teramobilisasi dalam bentuk entrapment (terperangkap) didalam matriks Ca-alginat, sehingga sebelum mencapai permukaan biosorben ion logam yang bergerak dalam larutan akan menuju Ca-alginate dahulu, kemudian baru mencapai permukaan biosorben.

Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Pb(II) pada biosorben lain juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Muntazer *et al* (2011) telah melakukan biosorpsi Pb(II) menggunakan alga coklat murni dan termodifikasi dengan waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan terjadi selama 60 menit dengan $Q_e = 105 \text{ mgg}^{-1}$. Schiewer dan Balaria (2009) mempelajari biosorpsi Pb(II) pada kulit jeruk original dan terprotonasi. Waktu kontak yang dibutuhkan mencapai 60 menit. Biosorpsi Pb(II) pada batang pisang kepok diperoleh waktu optimal untuk penyerapan Pb(II) selama 90 menit dengan $Q_e = 11,789 \text{ mgg}^{-1}$ (Heni Ningsih *et al*, 2015).

4.3.2. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Cd(II).

Hasil pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Cd(II) dapat dilihat pada Gambar 11. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan untuk ion logam Cd(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi, SBD-amobilisasi dalam Ca-alginat adalah 45 menit dan pada Ca-alginat 60 menit dengan kapasitas penyerapan $1,9108 \text{ mgg}^{-1}$; $1,78 \text{ mgg}^{-1}$ dan $0,62 \text{ mgg}^{-1}$ berturut-turut.



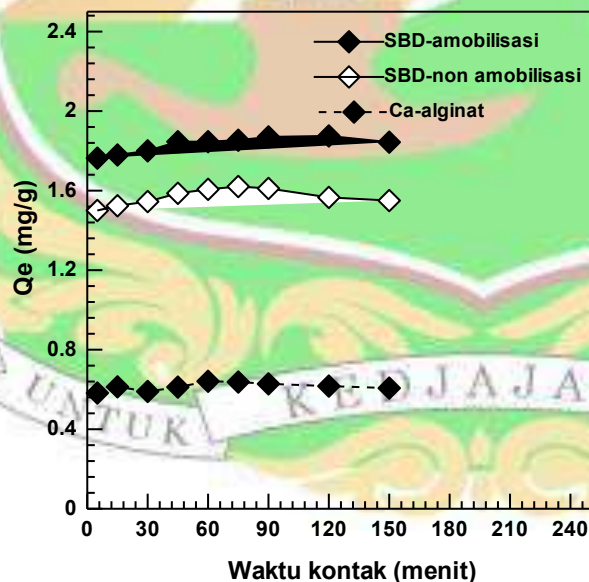
Gambar 11. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Cd, pH 5 pada non amobil, amobilisasi dan 6 pada Ca-alginat, massa biosorben = 0,1 g, konsentrasi awal = 10 mgL^{-1} , Kecepatan pengadukan = 150 rpm).

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa proses biosorpsi ion logam Cd(II) terdiri dari dua tahap utama yaitu tahap yang berlangsung cepat dimana ini berhubungan dengan biosorpsi pada permukaan luar biosorben, selanjutnya tahap kedua berlangsung lambat tahap gradual biosorpsi sebelum mencapai kesetimbangan. Penyerapan ion logam Cd(II) dengan biomassa *Penicillium simplicissimum* dapat dihilangkan pada 1 jam pertama dan mencapai kesetimbangan pada waktu 3 jam dengan $Q_e = 21 \text{ mgg}^{-1}$ (Ting Fan *et al*, 2008). Zulkarnain *et al* (2015) telah melakukan penyerapan ion Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah gula palm (*Arenga pinnata* Merris) teramobilisasi alginat dan waktu kontak optimum pada selang 45 menit dengan $Q_e = 0,251 \text{ mgg}^{-1}$. Mata *et al* (2009) melakukan biosorpsi Cd, Cu dan Pb menggunakan Ca-alginat xerogel

fucus vesiculosus teramobilisasi alginate dan diperoleh waktu optimum penyerapan setelah 8 jam.

4.3.3. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion Zn(II).

Hasil pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Zn(II) dapat dilihat pada Gambar 12. Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan kesetimbangan pada biosorben SBD-amobilisasi lebih lama dibanding SBD-non amobilisasi. Hal ini sama dengan mekanisme pada logam sebelumnya dimana waktu kontak pada biosorben SBD-amobilisasi 120 menit dengan $Q_e = 1,875 \text{ mgg}^{-1}$, 60 menit untuk SBD-non amobilisasi dengan $Q_e = 1,621 \text{ mgg}^{-1}$ dan pada Ca-alginat pada waktu 60 menit dengan $Q_e = 0,6412$. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan berbeda-beda untuk masing-masing biosorben. Pada biosorben amobilisasi Ca-alginat lebih lama dibanding SBD-non amobilisasi karena pada biosorben teramobilisasi berada dalam matriks polimer Ca-alginate. Proses terjadinya pergerakan ion menuju ke permukaan dinding sel biomassa sedikit terhalang oleh matriks Ca-alginat sendiri yang cukup tebal membungkus biomassa.



Gambar 12. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan Zn(II), pH 4 pada non amobil dan pH= 5 pada SBD-amobilisasi dan Ca-alginat, massa biosorben = 0,1 g, konsentrasi awal = 10 mgL⁻¹, Kecepatan pengadukan = 150 rpm).

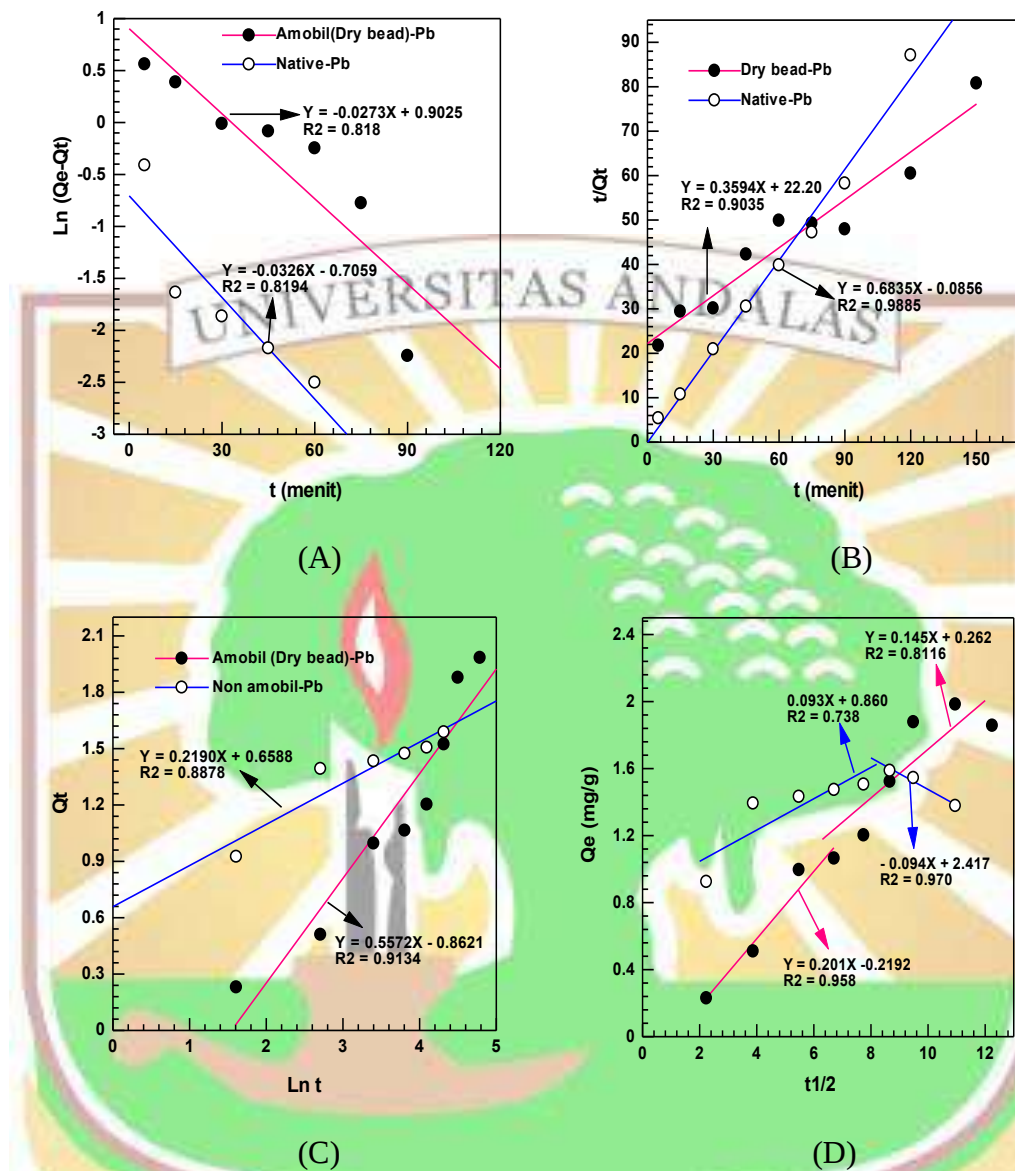
Pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan ion Zn(II) menggunakan serbuk daun *andropogon paniculata* dipelajari oleh Deli *et al* (2015) dan menemukan waktu optimum pada waktu 120 menit. Khairiah *et al*, 2015 menggunakan kulit buah langsung (*Lansium domesticum*) untuk penyerapan Pb(II) dan Zn(II), dan menemukan waktu kesetimbangan untuk penyerapan Zn(II) yaitu pada waktu 4 menit dengan kapasitas penyerapan $0,680 \text{ mg g}^{-1}$. Penyerapan Cu(II) dan Zn(II) pada biomassa *Mentha arvensis* teramobilisasi alginat berjalan lambat dan mencapai kesetimbangan setelah 240 menit (Hanif *et al*, 2009). Horvathova *et al* (2009) melakukan biosorpsi Cu(II) dan Zn(II) menggunakan biomassa alga (*Chlorella Kesleri*) dengan waktu optimum penyerapan yaitu 5 menit untuk biomassa free dan 5 jam untuk biomassa amobilisasi.

4.4. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi digunakan untuk menentukan waktu kesetimbangan dan kecepatan ikatan ion logam dengan biosorben (Schiewer, 2009). Beberapa model kinetika yang dapat menjelaskan kinetika biosorpsi secara batch dilaporkan oleh Gupta *et al* (2006). Data dapat di analisis dengan menggunakan model kinetika pseudo-first order Lagergren, pseudo second order, difusi intra partikel (Moris and Weber, 1963) dan model Elovic. Konstanta kecepatan adsorpsi dapat dihitung dari *slope* dan intersep dapat dilihat pada Gambar 13 A-D.

4.4.1. Kinetika Biosorpsi ion Pb(II).

Pada proses kinetika biosorpsi ion Pb(II) dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa kinetika biosorpsi Pb(II) pada biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat lebih mengikuti model Elovic dengan $r^2 = 0,913$ dan pseudo second order dengan nilai $r^2 = 0.903$, ini menjelaskan bahwa biosorpsi terjadi pada permukaan biosorben amobilisasi yang heterogen. Sedangkan untuk biosorben non amobilisasi lebih cenderung mengikuti model pseudo-second order dengan nilai $r^2 = 0,988$.



Gambar 13. Studi Kinetika biosorpsi ion Pb (II) menggunakan biosorben amobil dry bead dan non amobil : (A) Pseudo first order (B) Pseudo second order (C) Elovic dan (D) Difusi intra partikel.

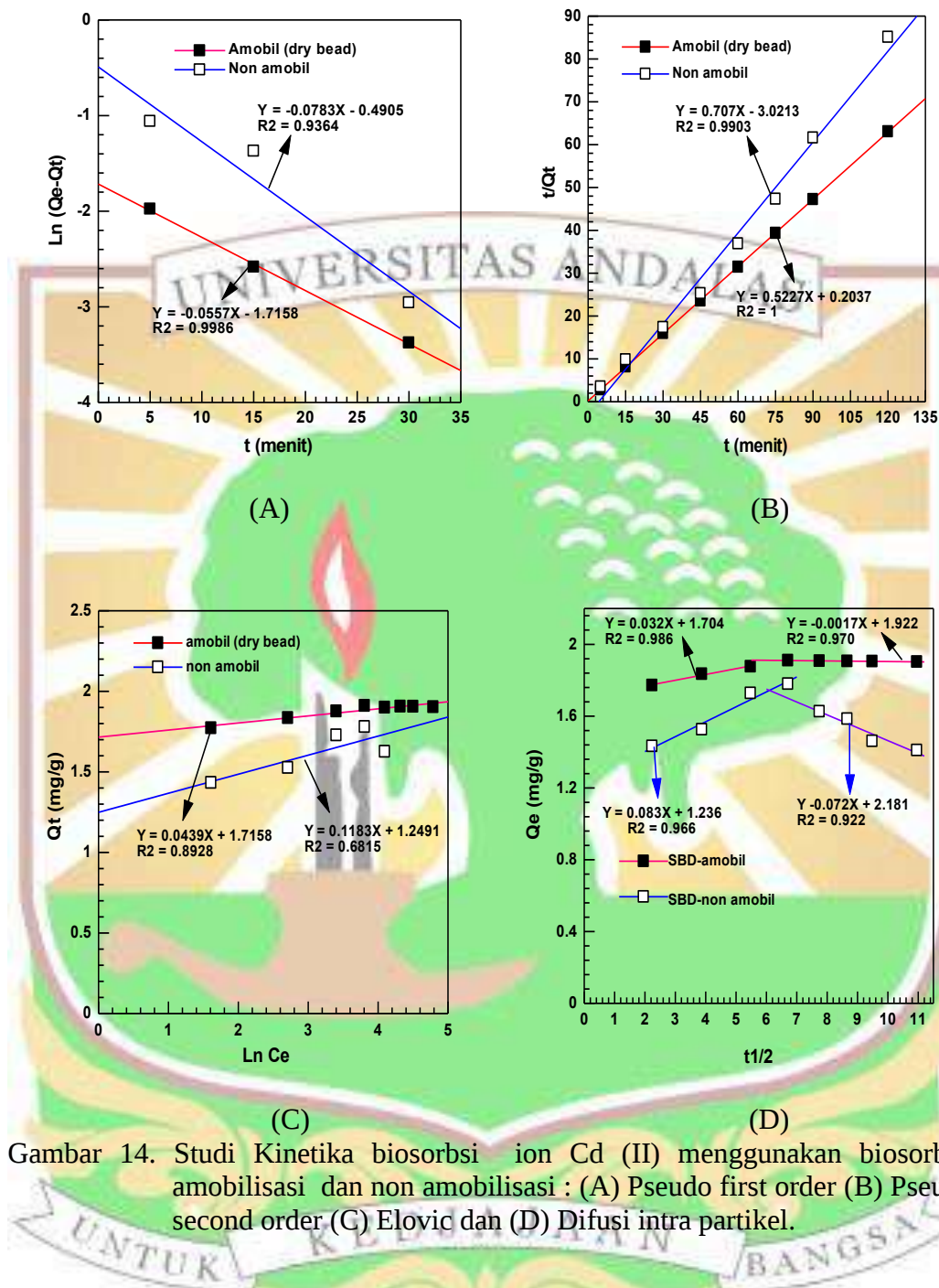
Dari persamaan Elovic didapatkan nilai β yang mencerminkan energi aktivasi untuk penyerapan secara kimia. Dari kedua biosorben Pb(II) terserap lebih cepat pada biosorben amobilisasi dibandingkan dengan biosorben non amobilisasi. Dari data nilai r^2 yang tinggi data kinetika menjelaskan mekanisme biosorpsi ion logam pada fase padat, jika tahap pembatas kecepatan adalah difusi intra partikel plot $t^{1/2}$ terhadap Q_e diperoleh garis lurus ini menunjukkan bahwa proses merupakan tahap pembatas kecepatan (Paresh Chakravarty, 2010).

Sesuai dengan persamaan Weber dan Moris hubungan antara kapasitas penyerapan dengan akar kuadrat waktu dapat memberikan informasi proses difusi tapi tidak memberikan pengaruh banyak tentang proses ikatan logam. Model difusi intra partikel dari persamaan Weber Moris digunakan untuk menentukan mekanisme yang terlibat dalam proses biosorpsi (Tabaraki *et al* 2014). Dari model difusi intra partikel didapatkan jumlah ion Pb(II) yang terserap pada biosorben SBD-amobil dan SBD-non amobil mempunyai multilinieriti dengan dua persamaan garis lurus, ini menyatakan bahwa proses biosorpsi Pb(II) berlangsung dua tahap. Tahap pertama terjadi penyerapan pada bagian permukaan luar biosorben yaitu perpindahan zat terlarut dari larutan ke boundary film disekitar partikel dan tahap kedua terjadi difusi dari film ke permukaan adsorben (difusi eksternal) dan selanjutnya difusi dari permukaan ke sisi intrapartikel (*intra particle diffusion*) dan biosorpsi intrapartikel melalui bidang batas ke permukaan adsorben (Hu *et al*, 2015). Adsorpsi terjadi secara gradual sampai mencapai konstan dimana difusi intrapartikel merupakan faktor penentu kecepatan.

Dari persamaan difusi intra partikel untuk penyerapan Pb(II) pada biosorben SBD-amobil diperoleh nilai $k_1 = 0,201$; $C_1 = -0,219$ dan $k_2 = -0,094$; $C_2 = 2,417$. Nilai k_1 lebih besar dari k_2 ini berarti penyerapan terjadi cepat di permukaan dan baru terdifusi kedalam intrapartikel. Untuk biosorben SBD-non amobil nilai $k_1 = 0,093$; $C_1 = 0,860$ dan $k_2 = 0,145$ dan $C_2 = 0,262$. Nilai $k_1 < k_2$ ini berarti proses penyerapan agak lambat di permukaan tapi lebih cepat terdifusi kedalam partikel dikarenakan karena biosorben tidak teramobilisasi sehingga ion logam Pb(II) lebih cepat terdifusi kedalam intrapartikel. Intersep dari grafik juga mencerminkan efek gumpalan lapisan. Jika intersep besar maka kontribusi penyerapan permukaan pada tahap tersebut terkendali (Ghani dan Chaghaby, 2014). Dari nilai intersep $C_1 > C_2$ ini berarti terjadi penggumpalan pada lapisan permukaan luar biosorben kemudian baru teradsorpsi ke dalam intrapartikel biosorben.

4.4.2. Kinetika Biosorpsi Ion Logam Cd(II)

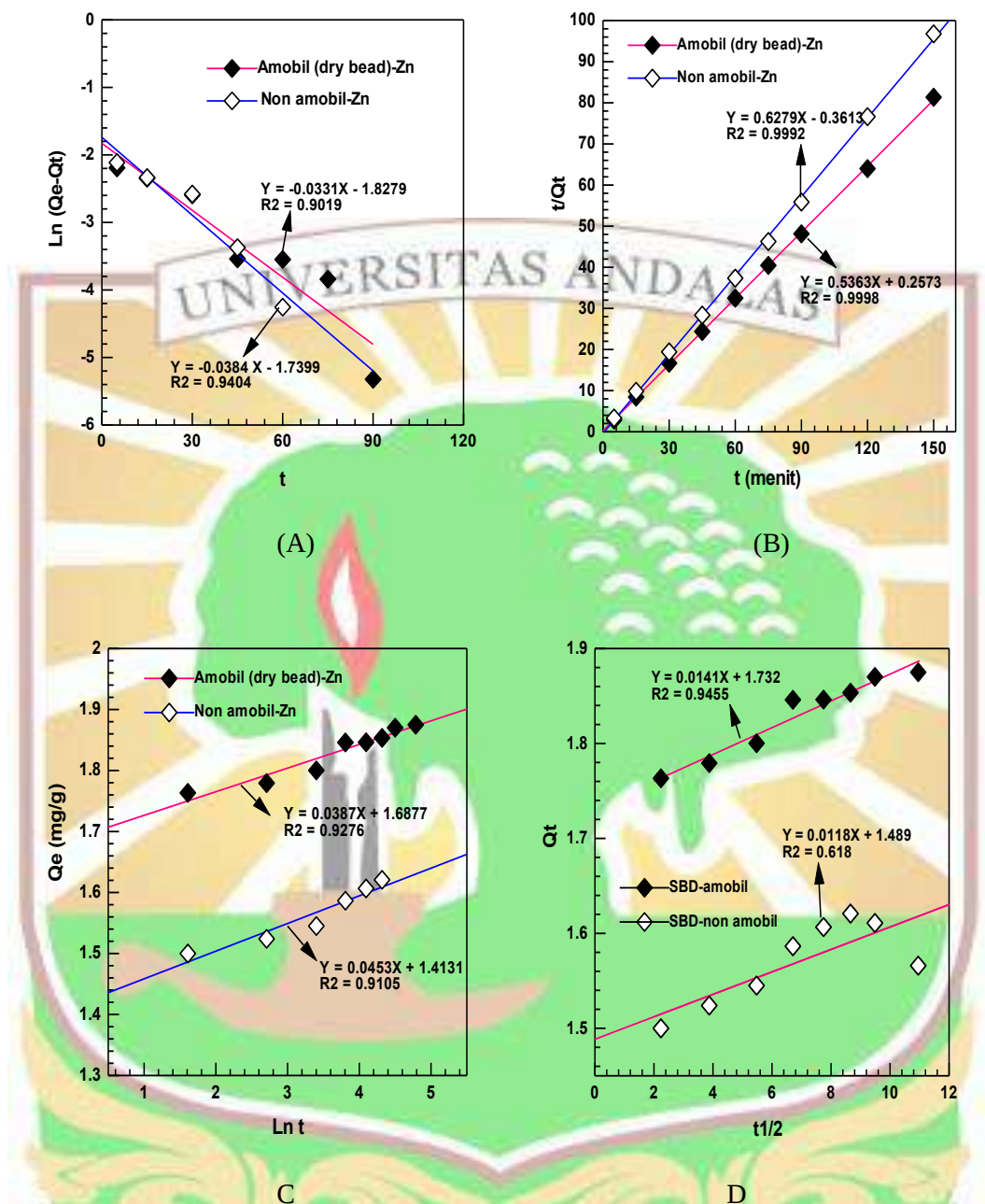
Kinetika biosorpsi ion logam Cd(II) dapat dilihat pada Gambar 14. Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa kinetika biosorpsi Cd(II) pada biosorben amobilisasi Ca-alginat dapat mengikuti kinetika pseudo second order dengan $r^2 = 1$ dan pseudo first order dengan $r^2 = 0,999$. Model difusi intra partikel dari persamaan Weber Moris didapatkan jumlah ion Cd(II) yang terserap pada biosorben SBD-amobil dan SBD-non amobil mempunyai multilinieriti dengan dua persamaan garis lurus, ini menyatakan bahwa proses biosorpsi Cd(II) berlangsung dua tahap. Tahap pertama terjadi penyerapan pada bagian permukaan luar biosorben dan tahap kedua terjadi difusi dari film ke permukaan adsorben (difusi eksternal) dan selanjutnya difusi dari permukaan ke sisi intrapartikel (*intra particle diffusion*). Dari persamaan difusi intra partikel untuk penyerapan Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi diperoleh nilai $k_1 = 0,032$; $C_1 = 1,704$ dan $k_2 = 0,017$; $C_2 = 1,922$. Nilai k_1 lebih besar dari k_2 dan r^2 tahap 1 lebih besar dari tahap 2. Ini berarti penyerapan terjadi cepat di permukaan dan baru terdifusi kedalam intrapartikel. Untuk biosorben SBD-non amobil nilai $k_1 = 0,083$; $C_1 = 1,236$ dan $k_2 = -0,072$ dan $C_2 = 2,181$. Nilai $k_1 > k_2$ ini berarti proses penyerapan berlangsung cepat di permukaan dan lambat terdifusi kedalam partikel dan intersep dari grafik dapat mencerminkan efek gumpalan lapisan (Gundogdu, 2009). Sedangkan untuk biosorben non amobil lebih cenderung mengikuti model pseudo-second order dengan $r^2 = 0,995$. Dari persamaan Elovic di dapatkan nilai β yang mencerminkan energi aktivasi untuk *chemisorption*. Dari kedua biosorben nilai β pada biosorben non-amobil lebih kecil dari pada amobil, sehingga Cd(II) terserap lebih cepat pada biosorben non-amobil dibandingkan dengan biosorben amobil. Nilai parameter kinetika pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intra partikel dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.



Gambar 14. Studi Kinetika biosorpsi ion Cd (II) menggunakan biosorben amobilisasi dan non amobilisasi : (A) Pseudo first order (B) Pseudo second order (C) Elovic dan (D) Difusi intra partikel.

4.4.3. Kinetika biosorpsi Ion Logam Zn(II)

Kinetika biosorpsi Ion logam Zn(II) dapat dilihat pada Gambar 15. Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa kinetika biosorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi dapat mengikuti model kinetika pseudo second order dengan $r^2 = 0,999$.



Gambar 15 . Studi Kinetika biosorpsi ion Zn (II) menggunakan biosorben amobil dan non amobil : (A) Pseudo first order (B) Pseudo second order (C) Elovic dan (D) Difusi intra partikel.

Untuk biosorben non-amobil lebih cenderung mengikuti model pseudo-second order dengan $r^2 = 0,999$, sedangkan persamaan difusi intrapartikel diperoleh satu garis lurus yang menyatakan bahwa proses biosorpsi Zn(II) berlangsung hanya satu tahap serta nilai C besar dari nol yang menunjukkan bahwa model difusi intra partikel bukanlah faktor dalam penentuan proses kinetika untuk biosorpsi Zn(II).

Tabel 4. Konstanta kinetika Pseudo first order, pseudo second order, Elovic dan difusi intra partikel pada biosorpsi ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) menggunakan biosorben SBD non-amobilisasi.

Logam	First orde kinetic			Second orde kinetic			Elovic			Difusi intra partikel			
	k_1	Q_e (mgg^{-1})	r^2	k_2	Q_e (mgg^{-1})	r^2	B	A	r^2	k_{id1}	r^2	k_{id2}	r^2
Pb	0,033	0,494	0,819	5,458	1,463	0,988	4,566	4,435	0,887	0,093	0,738	0,145	0,812
Cd	0,078	0,612	0,936	0,165	1,414	0,990	8,450	$3,08 \times 10^4$	0,893	0,083	0,850	-0,072	0,802
Zn	0,038	0,176	0,940	0,0001	1,593	0,999	22,081	$1,59 \times 10^{12}$	0,911	0,012	0,618	-	-

Tabel 5. Konstanta kinetika Pseudo first order, pseudo second order, Elovic dan difusi intra partikel pada biosorpsi ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) menggunakan biosorben SBD-amobilisasi.

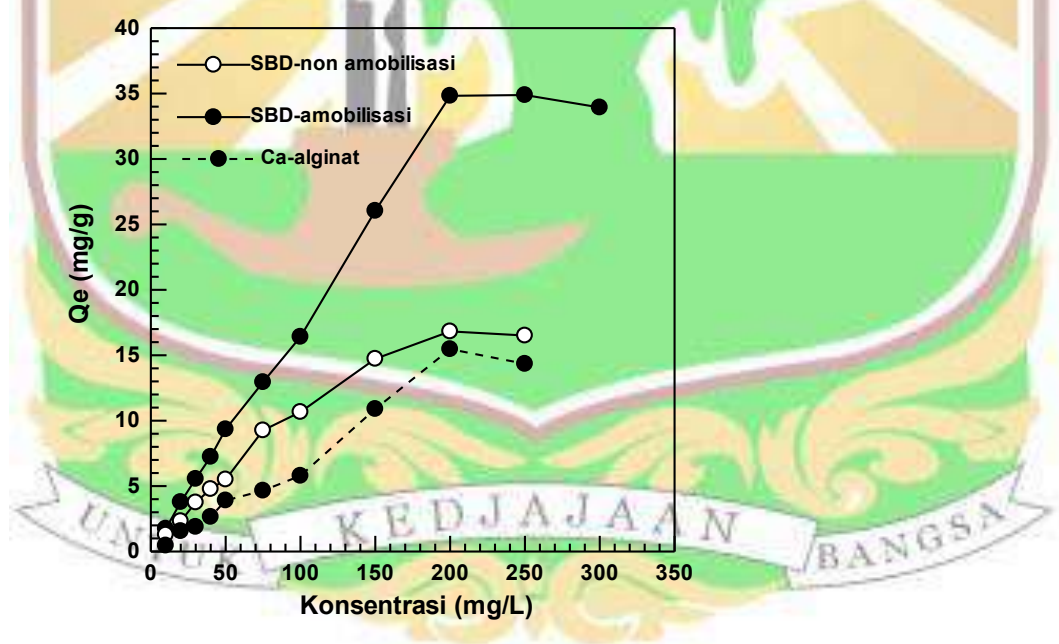
Logam	First orde kinetic			Second orde kinetic			Elovic			Difusi intra partikel			
	k_1	Q_e (mgg^{-1})	r^2	k_2	Q_e (mgg^{-1})	r^2	β	A	r^2	k_{id1}	r^2	k_{id2}	r^2
Pb	0.027	2,466	0,818	0,006	2,782	0,904	1,795	0,119	0,913	0,201	0,958	-,094	0,970
Cd	0,056	0,180	0,998	1,341	1,913	1,000	22,780	$5,49 \times 10^{16}$	0,682	0,032	0,986	-0,017	0,972
Zn	0,033	0,161	0,902	1,118	1,865	0,999	25,841	$3,37 \times 10^{17}$	0,927	0,014	0,946	-	-

4.5. Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Isoterm Adsorpsi.

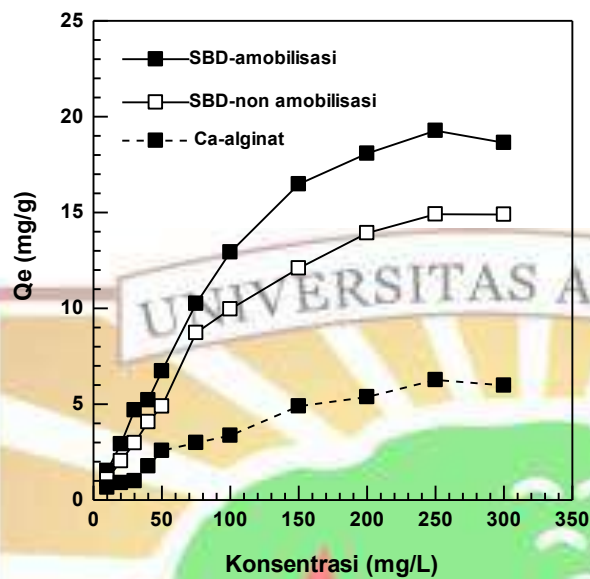
4.5.1. Pengaruh Konsentrasi Ion Logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada Biosorben SBD-Amobilisasi dan Non-amobilisasi.

Pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II), Cd(II), dan Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi dan non amobilisasi dipelajari dengan rentang konsentrasi awal dari 10-300 mgL⁻¹ pada suhu 27°C. Hasil pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas penyerapan ion-ion logam dapat dilihat pada Gambar 16-18.

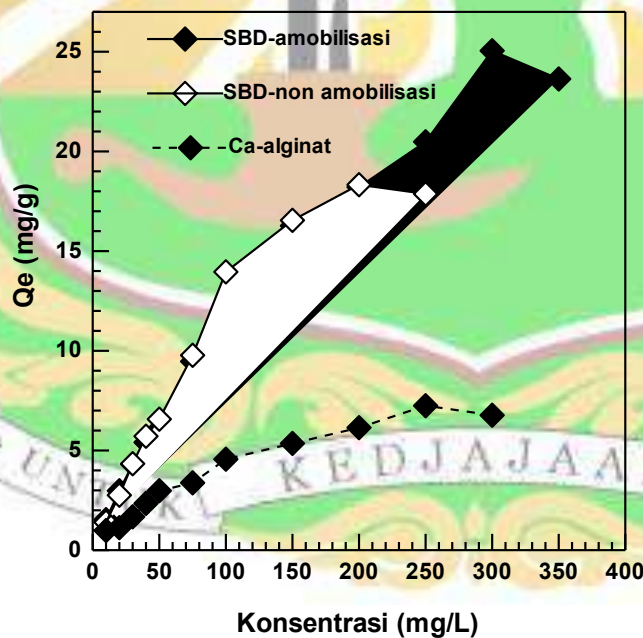
Dari Gambar 16-18 dapat dilihat bahwa untuk ion logam Pb(II) jumlah ion logam yang terserap per unit massa biosorben meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan dan optimum pada 250 mgL⁻¹ untuk SBD-amobilisasi, konsentrasi 200 mgL⁻¹ untuk biosorben SBD-non amobilisasi dan pada konsentrasi 200 mgg-1. Kapasitas biosorpsi Pb(II) untuk biosorben SBD-amobilisasi, non amobilisasi dan Ca-alginat didapatkan 34,887 mgg⁻¹ ; 16,825 mgg⁻¹ dan 15,465 mgg⁻¹.



Gambar 16. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Pb(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi, non-amobilisasi dan Ca-alginat (pH larutan Pb = 4, vol = 20 mL, massa = 0,1 g, waktu kontak SBD-amobilisasi = 120 menit, SBD-non amobilisasi = 75 menit dan Ca-alginat = 60 menit).



Gambar 17. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Cd(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi, non amobilisasi dan Ca-alginat dengan konsentrasi bervariasi ((pH larutan Cd = 5, vol larutan = 20 mL, massa = 0,1 g, waktu kontak SBD-amobilisasi = 45 menit, SBD-non amobilisasi = 45, Ca-alginat = 30 menit).



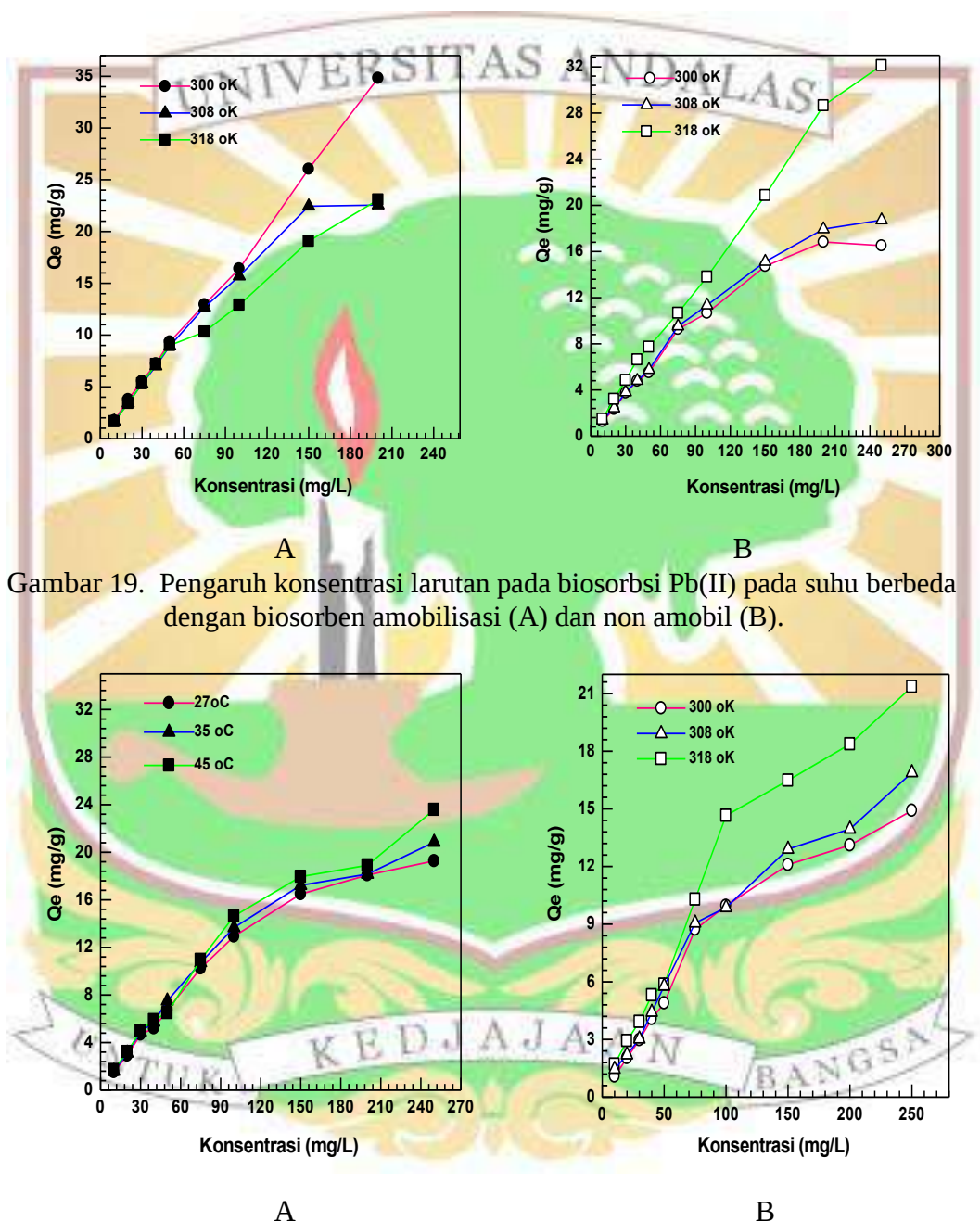
Gambar 18. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Zn(II) dengan biosorben amobilisasi, non amobilisasi dan Ca-alginat (pH larutan Zn 5, vol larutan = 20 mL, massa = 0,1 g, waktu kontak SBD-amobilisasi = 90 menit, SBD-non amobil = 45 menit dan Ca-alginat = 60 menit).

Dari Gambar 16-18 dapat dilihat bahwa kapasitas penyerapan untuk biosorben SBD-amobilisasi lebih besar dibandingkan dengan biosorben non amobilisasi, hal ini dapat dilihat bahwa biosorben amobil merupakan gabungan dari SBD dan alginat sehingga terjadi efek sinergis dari kedua biomaterial dan dapat meningkatkan kapasitas penyerapan ion logam hal ini dapat dilihat dari pengaruh perubahan karakteristik biosorben dimana intensitas gugus karboksil dan karbonil lebih tinggi. Pada biosorben SBD-amobilisasi penyerapan ion logam Pb(II) terjadi kesetimbangan pada konsentrasi 250 mgL^{-1} dengan $Q_e = 34,89 \text{ mgg}^{-1}$ untuk ion logam Cd(II) pada konsentrasi 250 mgL^{-1} dengan $Q_e = 19,27 \text{ mgg}^{-1}$, untuk ion logam Zn(II) pada konsentrasi 300 mgL^{-1} dengan $Q_e = 25,05 \text{ mgg}^{-1}$. Sedangkan pada biosorben non amobilisasi diperoleh konsentrasi optimal 200 mgL^{-1} untuk penyerapan Pb(II) dengan $Q_e = 16,83 \text{ mgg}^{-1}$, 250 mgL^{-1} untuk penyerapan Cd dengan $Q_e = 14,91 \text{ mgg}^{-1}$ dan pada konsentrasi 200 mgL^{-1} untuk penyerapan Zn(II) dengan $Q_e = 18,33 \text{ mgg}^{-1}$. Dapat terlihat bahwa biosorpsi ion logam meningkat dengan meningkatnya konsentrasi untuk biosorben SBD amobilisasi dengan persen peningkatan 51,76%, 22,63% dan 26,83% masing-masing untuk ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Hal ini menjelaskan bahwa konsentrasi ion logam mula-mula memberikan gaya dorong untuk terjadinya perpindahan ion logam di antara biosorben dan medium biosorpsi dan selanjutnya menjadi konstan atau turun karena telah jenuhnya biosorben dengan ion logam. Semakin tinggi konsentrasi semakin besar kapasitas penyerapan, ini disebabkan karena pengaruh gaya dorong dari ion logam untuk bergerak menuju ke permukaan dinding sel sehingga kapasitas penyerapan menjadi tinggi (Fun *et al*, 2008). Pada biosorben amobilisasi didapatkan kapasitas penyerapan yang lebih besar dibandingkan biosorben non amobil ini disebabkan adanya gugus fungsi dari alginat yang juga terdapat gugus fungsi karboksil dan hidroksil bersinergi.

4.5.2. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap biosorpsi Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan biosorben amobil dan non-amobil pada suhu berbeda.

Pengaruh konsentrasi larutan terhadap biosorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan biosorben amobil dan non amobilisasi dipelajari pada suhu berbeda ($300\text{-}318^\circ\text{K}$) dan hasil dapat dilihat pada Gambar 19-21. Dari Gambar 19-

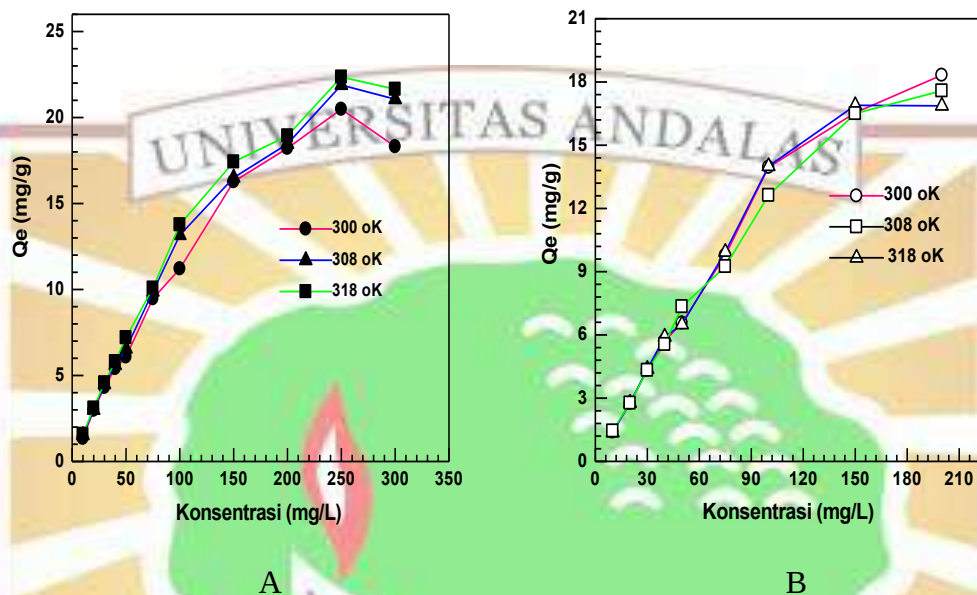
21 dapat dilihat bahwa kapasitas biosorpsi yang diperoleh pada biosorben SBD-amobilisasi suhu hanya sedikit mempengaruhi terhadap kenaikan kapasitas biosorpsi dimana ada peningkatan dari nilai kapasitas penyerapannya hal ini disebabkan karena pada biosorben amobil terbungkus dalam Ca-alginat sehingga pergerakan ion sedikit agak lambat.



Gambar 19. Pengaruh konsentrasi larutan pada biosorpsi Pb(II) pada suhu berbeda dengan biosorben amobilisasi (A) dan non amobil (B).

Untuk biosorben-amobilisasi Ca-alginat sisi aktif permukaan dibungkus oleh Ca-alginat sehingga pergerakan ion untuk menembus bagian dalam (core)

dari serbuk biji durian sedikit terhalang sehingga hanya sedikit kenaikan kapasitas penyerapannya, sedangkan pada biosorben non amobil peningkatan suhu dapat meningkatkan kapasitas biosorpsi lebih banyak.



Gambar 21. Pengaruh konsentrasi terhadap biosorpsi Zn(II) pada suhu berbeda dengan biosorben amobil (A) dan non-amobil (B).

Pada saat suhu dinaikan maka akan terjadi pergerakan ion logam lebih cepat untuk bermigrasi ke bagian sisi aktif pada permukaan biosorben. Dengan menaikkan suhu maka akan memberikan energi untuk terjadinya migrasi ion logam ke sisi aktif biosorben sampai mencapai kesetimbangan (*equilibrium*). Untuk ion logam Pb(II) terjadi penurunan kapasitas biosorpsi dari 38,887 mgg^{-1} menjadi 23,071 mgg^{-1} . Penurunan ini disebabkan karena dengan bertambahnya suhu dapat mengakibatkan terjadinya pelepasan dari ion logam yang sudah terikat, sedangkan untuk biosorben non amobil pada biosorpsi Pb(II) terjadi peningkatan dari 16,825 mgg^{-1} menjadi 28,644 mgg^{-1} . Untuk ion logam Cu(II) terjadi peningkatan kapasitas serapan dari 20,075 mgg^{-1} menjadi 22,325 mgg^{-1} untuk biosorben amobil dan 12,935 mgg^{-1} menjadi 24,746 mgg^{-1} untuk biosorben non amobil. Pada ion logam Cd(II) terjadi peningkatan kapasitas biosorpsi dari 18,08 mgg^{-1} menjadi 18,906 mgg^{-1} untuk biosorben amobil dan 14,90 mgg^{-1} menjadi 18,367 mgg^{-1} dan pada ion logam Zn(II) terjadi peningkatan dari 20,484 mgg^{-1} menjadi 22,354 mgg^{-1} untuk amobil dan dari 16,543 mgg^{-1} menjadi 17,584 mgg^{-1} untuk biosorben non amobilisasi.

4.5.3. Model Isotherm Adsorpsi Ion Logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) Pada Suhu Berbeda Dengan Biosorben amobilisasi dan non-amobilisasi.

Model isotherm adsorpsi adalah dasar dalam memberikan informasi penting yang dibutuhkan untuk mendesain proses penyerapan. Dalam penelitian ini model isotherm adsorpsi Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben serbuk biji durian amobil dan non amobil di analisis dengan menggunakan model isotherm adsorpsi Langmuir, Freundlich, Temkin dan Dubinin-Rudushkevich (D-R). Model isotherm biosorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada suhu berbeda dengan biosorben amobil dan non-amobil dapat dilihat pada Gambar 22-27 dan Hasil nilai konstanta dari model isotherm dapat dilihat pada Tabel 6-7.

4.5.3.1. Ion Logam Pb(II)

Isotherm Langmuir adalah model isotherm adsorpsi yang menggunakan asumsi bahwa permukaan adsorben mempunyai sejumlah sisi aktif, setiap sisi aktif dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat dan bila setiap sisi aktif yang telah mengadsorpsi adsorbat, maka adsorben tidak dapat menyerap lagi (Tabaraki *et al*, 2014). Adsorpsi secara kimia terjadi karena adanya interaksi antara sisi aktif adsorben dengan adsorbat yang melibatkan ikatan kimia. Interaksi kimia hanya terjadi pada lapisan penyerapan tunggal (monolayer adsorption) permukaan dinding sel adsorben (Paresh Chakravarty, 2010).

Isotherm adsorpsi Langmuir untuk ion logam Pb(II) pada suhu berbeda-beda menggunakan biosorben biji durian teramobilisasi Ca-alginate dapat dilihat pada Gambar 22A. Dari Gambar 22A dapat terlihat bahwa suhu mempengaruhi terhadap nilai konstanta isotherm dan kapasitas adsorpsi maksimum. Nilai koefisien korelasi (r^2) lebih linier pada suhu 300 °K dengan nilai $r^2 = 0,965$.

Pada suhu yang tinggi terjadi penurunan kapasitas adsorpsi, hal ini disebabkan karena terjadi pergerakan molekul yang cepat pada suhu tinggi dan menyebabkan ion Pb(II) yang terserap dapat lepas kembali. Nilai konstanta K_L dan Q_m untuk biosorben SBD-teramobilisasi alginate dapat dilihat pada Tabel 7. Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai Q_m menurun dengan naiknya suhu (300-318°K) yaitu dari Q_m 40,32; 27,70; 26,04 mgg⁻¹, nilai K_L juga menurun dengan

naiknya suhu hal ini berarti afinitas biosorpsi ion Pb(II) pada biosorben biji durian teramobilisasi Ca-alginat menurun.

Model isotherm Freundlich adalah persamaan empiris yang berdasarkan pada adsorpsi pada permukaan multilayer (heterogen). Isotherm Freundlich dapat diaplikasikan untuk multilayer adsorpsi. Model isotherm Freundlich pada biosorpsi Pb(II) menggunakan biosorben SBD-teramobilisasi Ca-alginat dapat dilihat pada Gambar 22B dan nilai konstanta K_F dan n dapat dilihat pada Tabel 7. Nilai $n = 1-10$ menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara favorable (Nyoku, 2014). Dari Tabel 7 nilai konstanta $n = 1,714-1,814$ dengan naiknya suhu yang berarti proses adsorpsi bersifat favorable, nilai K_F menurun dengan naiknya suhu, sedangkan nilai $R^2 = 0,869-0,829$ lebih rendah dibandingkan Langmuir, ini berarti proses adsorpsi lebih sesuai dengan isotherm Langmuir.

Model isotherm Temkin dapat dilihat pada Gambar 22C dan nilai konstanta B_T dan K_T dapat dilihat pada Tabel 7. Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai B_T dan K_T meningkat dengan naiknya suhu hal ini berarti bahwa semakin tinggi suhu maka panas adsorpsi semakin meningkat dan bernilai positif, ini berarti bahwa proses biosorpsi antara adsorbat dan adsorben berlangsung secara endotermik.

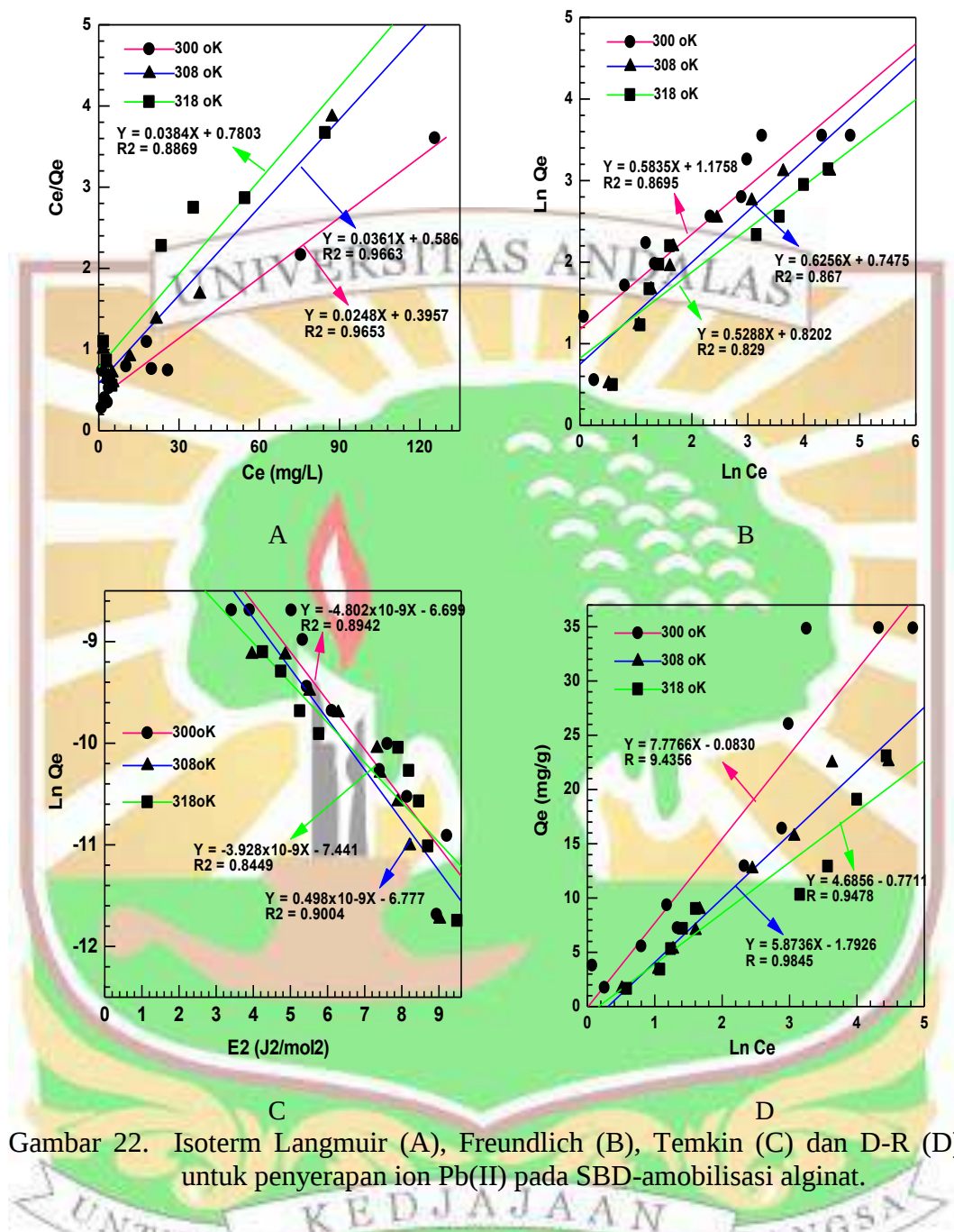
Model Isotherm D-R tidak mengasumsikan pada permukaan homogen (Dang *et al*, 2009). Keseimbangan D-R dapat digunakan untuk penentuan proses biosorpsi apakah berlangsung secara fisika atau kimia. Model isotherm D-R adalah lebih umum dari pada isotherm Langmuir sebagai penurunan yang tidak berdasarkan asumsi ideal seperti sisi yang telah terisi, tidak adanya *steric hindrance* antara sorbat dan homogenitas permukaan pada level mikroskopis. Bentuk linier persamaan isotherm D-R dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\ln Q_e = \ln Q_m - \beta \varepsilon^2$$

dimana β adalah koefisien yang berhubungan energi bebas rata-rata adsorpsi ($\text{mol}^2\text{J}^{-2}$), Q_m adalah kapasitas adsorpsi maksimum dan ε adalah Potensial Polanyi (Jmol^{-1}).

Nilai Q_m dihitung dari intersep dan energi bebas rata-rata biosorpsi ($E = \text{kJmol}^{-1}$) adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2\beta^{1/2}}$$



Gambar 22. Isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk penyerapan ion Pb(II) pada SBD-amobilisasi alginat.

Nilai E (kJmol^{-1}) memberikan informasi tentang mekanisme penyerapan secara fisika atau kimia (Anayurt, 2009). Jika nilai $E = 8\text{-}16 \text{ kJmol}^{-1}$ maka proses penyerapan terjadi secara fisika. Model isoterm D-R dapat dilihat pada Gambar 22D. Nilai r^2 untuk isotherm D-R mendekati linier yaitu dari 0,894-0,900 dengan naiknya suhu. Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai $E = 10,204 \text{ kJmol}^{-1}$ untuk biosorpsi Pb(II). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi Pb(II) pada biosorben biji durian teramobilisasi alginat adalah proses kimia dengan

mekanisme ion exchange karena energi penyerapan dalam range 8-16 kJmol⁻¹ (Fan *et al*, 2008).

Model Persamaan Isoterm Untuk Pb(II) menggunakan biosorben Serbuk biji durian-non amobilisasi.

Model persamaan isotherm Langmuir menggunakan biosorben non-amobilisasi dapat dilihat pada Gambar 23 A-D. Dari slope dapat ditentukan nilai Q_m teori untuk ion logam Pb(II) adalah meningkat dengan meningkatnya suhu, ini disebabkan pergerakan ion logam akan bergerak lebih cepat menuju sisi aktif permukaan biosorben dengan meningkatnya suhu dan menyatakan bahwa reaksi berlangsung secara endoterm. Nilai r^2 berkurang dengan naiknya suhu dari 0,976-0.847 dimana proses adsorpsi tidak hanya berlangsung pada lapisan monolayer tapi bisa mengadsorpsi sebagian dalam biosorben yang heterogen. Maka dilakukan analisis isotherm berikutnya dengan model Freundlich.

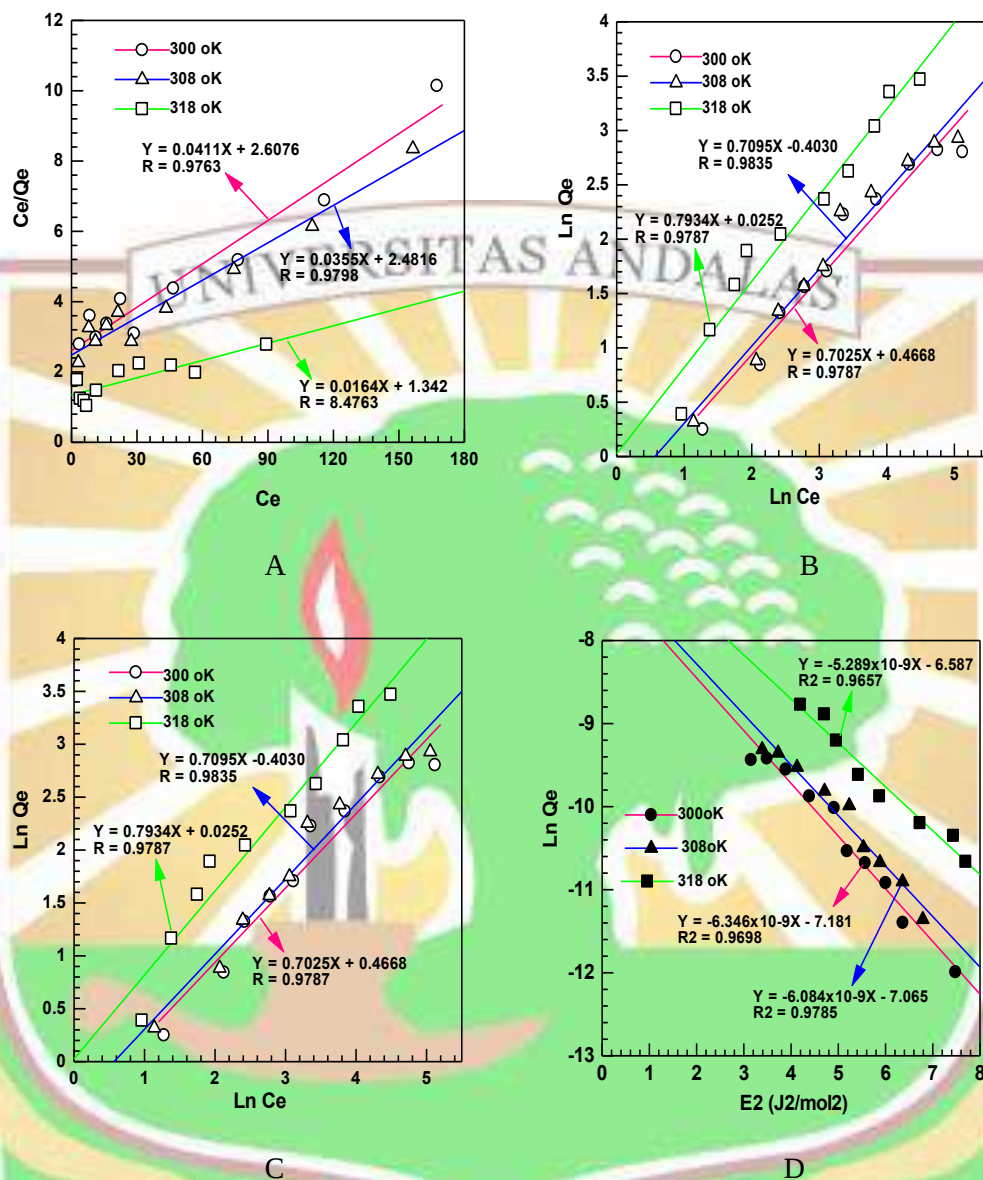
Persamaan isotherm Feundlich dapat dilihat pada Gambar 23(B). Nilai n dan K_F untuk Pb(II) pada biosorben non-amobil pada suhu berbeda dapat dilihat pada Tabel 6. Dari hasil didapatkan nilai $n = 1,423; 1,409; \text{ dan } 1,260$ dimana proses adsorpsi terjadi secara favorabel jika nilai $n = 1-10$ (Njoku, 2014), heterogen dan secara kimia. Nilai K_F meningkat dengan naiknya suhu, ini berarti bahwa kapasitas adsorpsi meningkat dengan naiknya suhu disebabkan karena rongga/pori-pori permukaan biosorben semakin terbuka sehingga kemampuan untuk menyerap ion logam Pb(II) semakin meningkat (Gundogdu *et al*, 2009). Nilai $r^2 = 0,952-0,957$ dimana model isotherm adsorpsi lebih cenderung menggunakan isotherm Freundlich sehingga dapat digunakan dalam proses adsorpsi ion Pb(II) pada biosorben non-amobil. Kurniawan *et al* (2013) menggunakan serbuk *Annona muricata L* untuk biosorpsi Pb(II) dan menemukan model Freundlich lebih sesuai dibandingkan model isotherm Langmuir. Gonzales *et al* (2007) mempelajari biosorpsi Pb(II) pada *Agave tuquilana* dimana model Freundlich lebih sesuai dibandingkan Langmuir.

Model isotherm Temkin dapat dilihat pada Gambar 23(C). Pada isotherm Temkin lebih mempertimbangkan pada pengaruh interaksi adsorbat-adsorben (Dang, 2009). Nilai konstanta B_T dan K_T yang ditampilkan dalam Tabel 6. Dari

Tabel 6 terlihat bahwa nilai B_T menurun dengan naiknya suhu dan K_T meningkat dengan naiknya suhu hal ini berarti bahwa semakin tinggi suhu maka panas adsorpsi semakin menurun dan bernilai positif, ini berarti bahwa proses biosorpsi antara adsorbat dan adsorben berlangsung secara endotermik.

Model Isoterm D-R juga ditampilkan pada kesetimbangan biosorpsi ion Pb(II) pada biosorben non amobil apakah berlangsung secara fisika atau kimia. Nilai E (kJmol^{-1}) memberikan informasi tentang mekanisme penyerapan secara fisika atau kimia (Anayurt, 2009). Jika nilai $E = 8-16 \text{ kJmol}^{-1}$ maka proses penyerapan terjadi secara fisika. Model isoterm D-R dapat dilihat pada Gambar 23D. Nilai r^2 untuk isotherm D-R mendekati linier yaitu dari 0,969--0,966 dengan naiknya suhu dan dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai $E = 8,876- 9,141 \text{ kJmol}^{-1}$ untuk biosorpsi Pb(II). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi Pb(II) pada biosorben biji durian non-amobil adalah proses kimia dengan mekanisme karena energi penyerapan dalam range $8-16 \text{ kJmol}^{-1}$ (Fan *et al*, 2008).

Model Isoterm D-R juga ditampilkan pada kesetimbangan biosorpsi ion Pb(II) pada biosorben non amobil apakah berlangsung secara fisika atau kimia. Nilai E (kJmol^{-1}) memberikan informasi tentang mekanisme penyerapan secara fisika atau kimia (Anayurt, 2009). Jika nilai $E = 8-16 \text{ kJmol}^{-1}$ maka proses penyerapan terjadi secara fisika. Model isoterm D-R dapat dilihat pada Gambar 23D. Nilai r^2 untuk isotherm D-R mendekati linier yaitu dari 0,969-0,965 dengan naiknya suhu dan dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai $E = 8,876- 9,141 \text{ kJmol}^{-1}$ untuk biosorpsi Pb(II). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi Pb(II) pada biosorben biji durian non-amobil adalah proses kimia dengan mekanisme karena energi penyerapan dalam range $8-16 \text{ kJmol}^{-1}$ (Fan *et al*, 2008).



Gambar 23. Isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk penyerapan ion Pb(II) oleh SBD non-amobilisasi.

4.5.3.2. Ion Logam Cd(II).

Isoterm Adsorpsi untuk ion logam Cd(II) pada biosorben amobilisasi Ca-alginat.

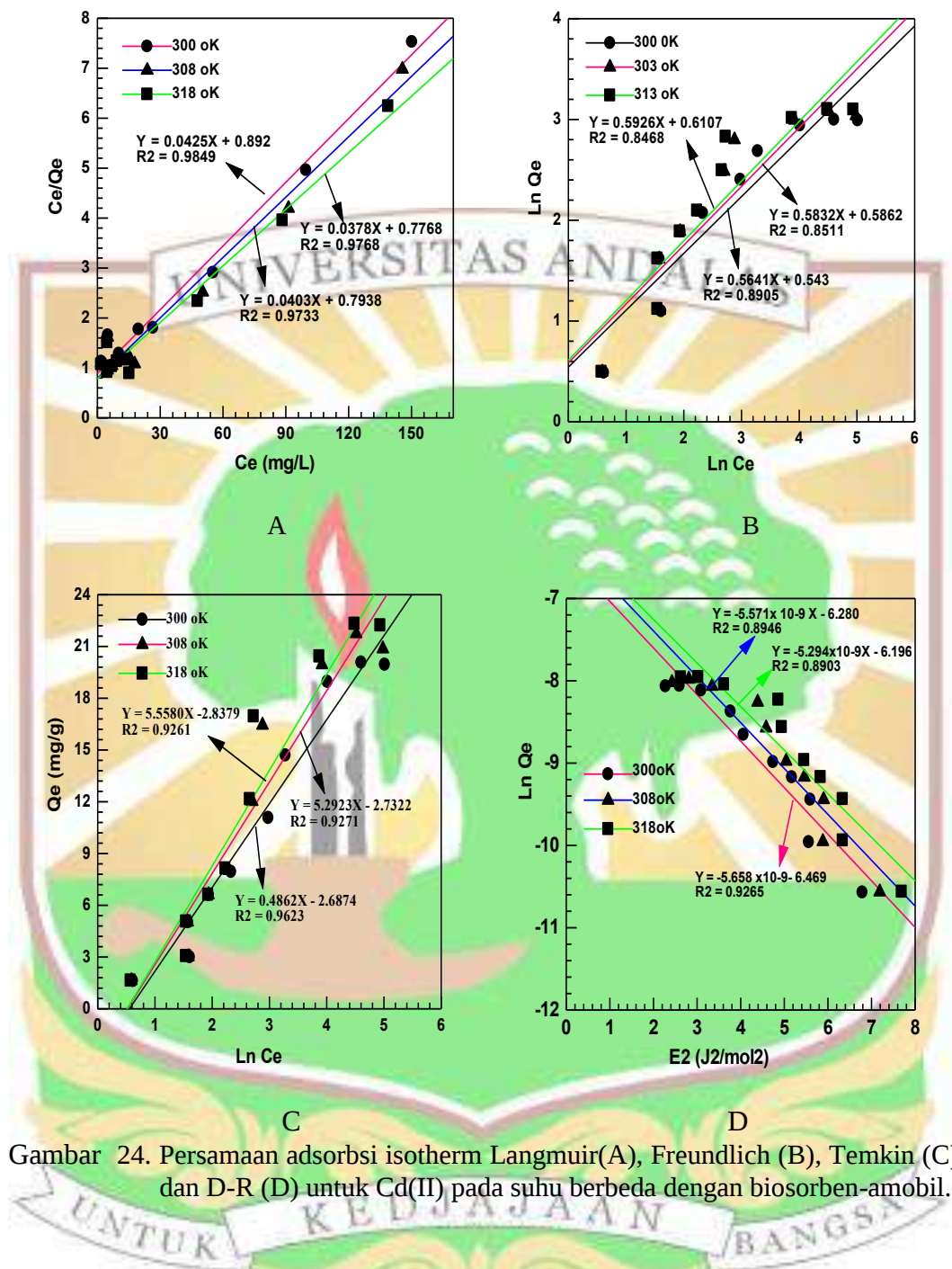
Isoterm adsorpsi untuk ion Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi dapat dilihat pada Gambar 24(A-D). Persamaan isotherm Langmuir menggunakan biosorben SBD-amobilisasi dapat dilihat pada Gambar 24(A). Dari slope dapat ditentukan nilai Q_m teori untuk ion logam Cd(II) adalah meningkat dengan

meningkatnya suhu yaitu 22,42-26,35 mgg⁻¹. Nilai r^2 yaitu 0,988; 0,990; 0,939 ini berarti isotherm Langmuir sesuai untuk biosorpsi Cd(II) pada biosorben SBD teramobilisasi alginat dimana proses adsorpsi berlangsung pada lapisan monolayer, sedangkan nilai K_L semakin meningkat dengan meningkatnya suhu, ini berarti bahwa semakin kuat teradsorpsi pada lapisan monolayer.

Untuk isotherm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 24(B) dan nilai konstanta Freundlich K_F dan n ditampilkan dalam Tabel 7. Nilai K_F semakin meningkat dengan naiknya suhu sedangkan nilai n berkurang. Proses adsorpsi yang terjadi favorabel, heterogen dan secara kimia. Nilai r^2 juga mendekati linier yaitu 0,989; 0,939; 0,949 ini berarti model isotherm adsorpsi Freundlich juga sesuai untuk adsorpsi Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat.

Isotherm Temkin dapat dilihat pada Gambar 24(C). Dengan memplotkan $\ln C_e$ terhadap Q_e maka dapat diperoleh nilai konstanta bT dan K_T yang ditampilkan dalam Tabel 7. Dari Tabel terlihat bahwa nilai B_T menurun dengan naiknya suhu dan K_T meningkat dengan naiknya suhu hal ini berarti bahwa semakin tinggi suhu maka panas adsorpsi semakin menurun dan bernilai positif, ini berarti bahwa proses biosorpsi antara adsorbat dan adsorben berlangsung secara endotermik.

Isotherm D-R dapat dilihat pada Gambar 24D. Nilai r untuk isotherm D-R mendekati linier dengan nilai r^2 dari 0,956 - 0,959 dengan naiknya suhu dan dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai $E = 9,602-10,451 \text{ kJmol}^{-1}$ untuk biosorpsi Cd(II). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi Cd(II) pada biosorben amobilisasi Ca-alginat adalah proses kimia dengan mekanisme ion exchange karena energi penyerapan dalam range 8-16 kJ/mol (Fan *et al*, 2008). Nilai β bernilai negatif ini menyatakan bahwa isotherm lebih cenderung ke model isotherm D-R.



Gambar 24. Persamaan adsorpsi isotherm Langmuir(A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk Cd(II) pada suhu berbeda dengan biosorben-amobil.

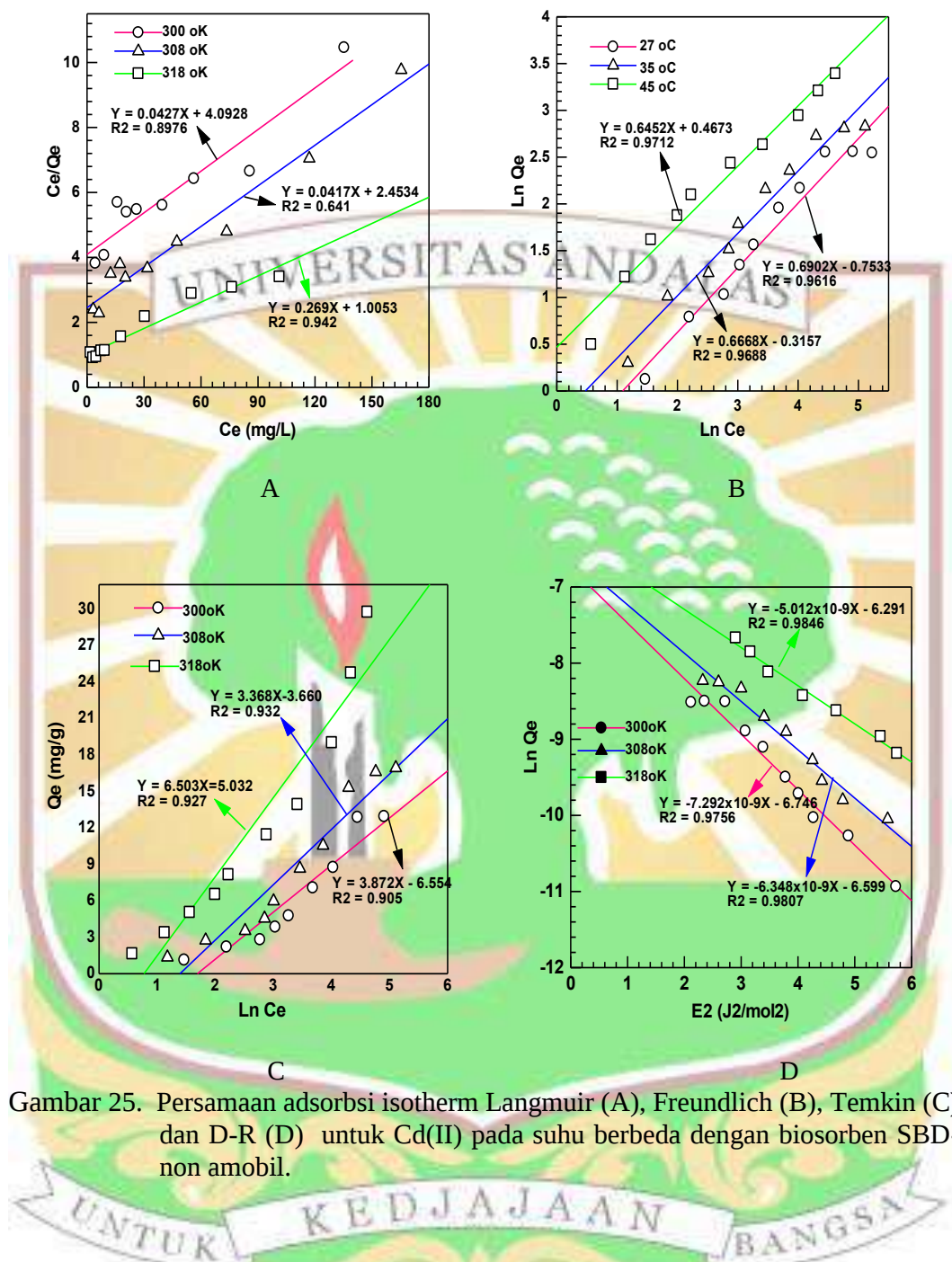
Isotherm adsorpsi Cd(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi.

Isoterm Langmuir untuk adsorpsi Cd(II) pada biosorben non amobil ditunjukkan pada Gambar 25(A), sedangkan hasil konstanta isotherm K_L dan Q_m dapat dilihat pada Tabel 6. Nilai Q_m teori dan percobaan meningkat dengan naiknya suhu sedangkan nilai r^2 menurun dengan naiknya suhu yaitu 0,955; 0,861; 0,895.

Isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 25(B) dan nilai konstanta Freundlich K_F dan n ditampilkan dalam Tabel 6. Nilai K_F semakin meningkat dengan naiknya suhu sedangkan nilai n berkurang. Proses adsorpsi yang terjadi favorabel, heterogen dan secara kimia. Nilai r^2 juga mendekati linier yaitu 0,930; 0,932; 0,942 ini berarti model isotherm adsorpsi Freundlich lebih sesuai untuk adsorpsi Cd(II) pada biosorben SBD- amobilisasi.

Isotherm Temkin untuk biosorpsi Cd(II) pada biosorben non amobilisasi dapat dilihat pada Gambar 25(C). Nilai konstanta B_T dan K_T yang ditampilkan dalam Tabel 6. Dari Tabel 6 terlihat bahwa nilai B_T menurun dengan naiknya suhu dan K_T meningkat dengan naiknya suhu hal ini berarti bahwa semakin tinggi suhu maka panas adsorpsi semakin menurun dan bernilai positif, ini berarti bahwa proses biosorpsi antara adsorbat dan adsorben berlangsung secara endotermik. Nilai r^2 yaitu 0,956; 0,871 dan 0,765 pada suhu 27-45°C. Ini menunjukkan bahwa isotherm Temkin kurang sesuai untuk adsorpsi Cd(II) pada biosorben non-amobil.

Isotherm D-R dapat dilihat pada Gambar 25D. Nilai r^2 untuk isotherm D-R mendekati linier yaitu dari 0,956-0,899 dengan naiknya suhu dan dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai $E = 8,414; 9,285; 9,393 \text{ kJmol}^{-1}$ untuk biosorpsi Cd(II). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi Cd(II) pada biosorben SBD-non-amobil adalah proses kimia dengan mekanisme ion exchange karena energi penyerapan dalam range 8-16 kJ/mol (Fan *et al*, 2008). Hasany *et al* (2006) melakukan adsorpsi Cd(II) pada sabut kelapa dan ditemukan $E = 8,5 \text{ kJmol}^{-1}$ dan $Q_D = 3,51 \times 10^{-2} \text{ molg}^{-1}$. Dang *et al* (2009) melakukan biosorpsi Cd(II) pada jerami gandum dan menemukan nilai $E = 11,2 \text{ kJmol}^{-1}$, proses adsorpsi berlangsung secara pertukaran ion.



Gambar 25. Persamaan adsorpsi isotherm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk Cd(II) pada suhu berbeda dengan biosorben SBD-non amobil.

4.5.3.3. Ion Logam Zn(II)

Isoterm Adsorpsi Ion Zn(II) Pada Biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat

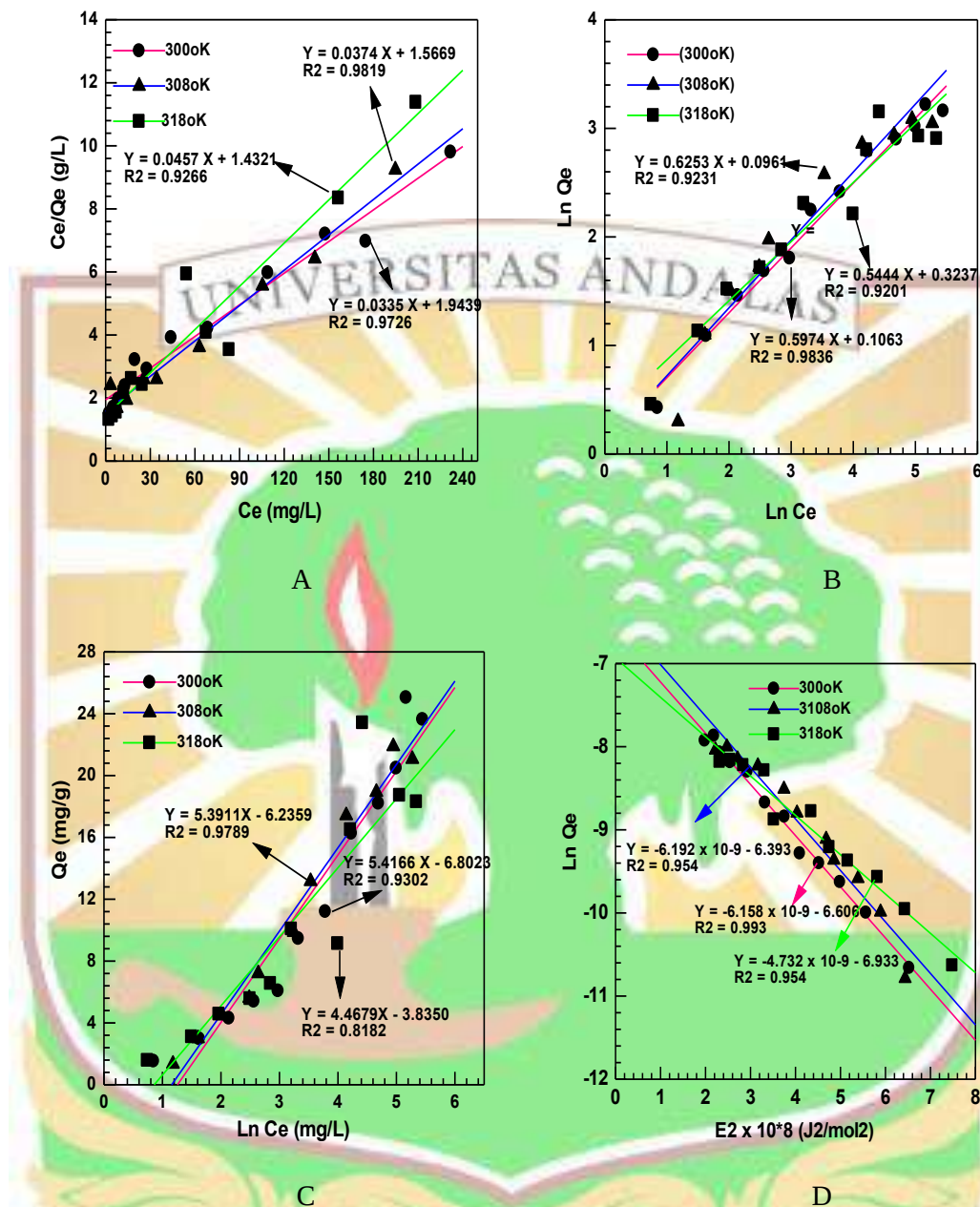
Isoterm adsorpsi untuk ion Zn(II) pada biosorben SBD-amobil Ca-alginat dapat dilihat pada Gambar 26(A-D). Isotherm Langmuir menggunakan biosorben SBD-amobil dapat dilihat pada Gambar 26(A). Dari slope dapat ditentukan nilai Q_m teori untuk ion logam Zn(II) adalah menurun dengan meningkatnya suhu

yaitu 29,85; 26,74 dan 21,60 mgg^{-1} . Nilai r^2 yaitu 0,973; 0,982; 0,957 ini berarti isotherm Langmuir lebih sesuai untuk biosorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi, sedangkan nilai K_L semakin meningkat dengan meningkatnya suhu, ini berarti bahwa semakin kuat teradsorpsi pada lapisan monolayer.

Untuk isotherm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 26(B) dan nilai konstanta Freundlich K_F dan n ditampilkan dalam Tabel 7. Nilai K_F dan n semakin meningkat dengan naiknya suhu. Proses adsorpsi yang terjadi bersifat favorable, heterogen dan secara kimia. Nilai r^2 juga mendekati linier yaitu 0,983; 0,923; 0,945 ini berarti model isotherm adsorpsi Freundlich juga sesuai untuk adsorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi.

Isotherm Temkin dapat dilihat pada Gambar 26(C). Dengan memplotkan $\ln C_e$ terhadap Q_e maka dapat diperoleh nilai konstanta B_T dan K_T yang ditampilkan dalam Tabel 7. Dari Tabel terlihat bahwa nilai B_T dan k_T meningkat dengan naiknya suhu hal ini berarti bahwa semakin tinggi suhu maka panas adsorpsi semakin meningkat dan bernilai positif, ini berarti bahwa proses biosorpsi antara adsorbat dan adsorben berlangsung secara endotermik. Nilai r^2 yaitu 0,930; 0,979; 0,818 pada suhu 27- 45°C. Ini menunjukkan bahwa isotherm Temkin juga sesuai untuk adsorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-amobil.

Model isotherm D-R dapat dilihat pada Gambar 26D. Nilai r^2 untuk isotherm D-R mendekati linier yaitu dari 0,993; 0,954; 0,964 dengan naiknya suhu ini berarti model D-R lebih sesuai untuk adsorpsi Zn(II) dan dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai $E = 8,986; 9,010; 10,279 \text{ kJmol}^{-1}$ untuk biosorpsi Zn(II). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-amobil adalah proses kimia dengan mekanisme ion exchange (Fan *et al*, 2008).



Gambar 26. Persamaan adsorpsi isotherm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk penyerapan ion Zn(II) oleh SBD-amobilisasi.

Isoterm Adsorpsi Ion Logam Zn(II) pada biosorben SBD non-amobilisasi.

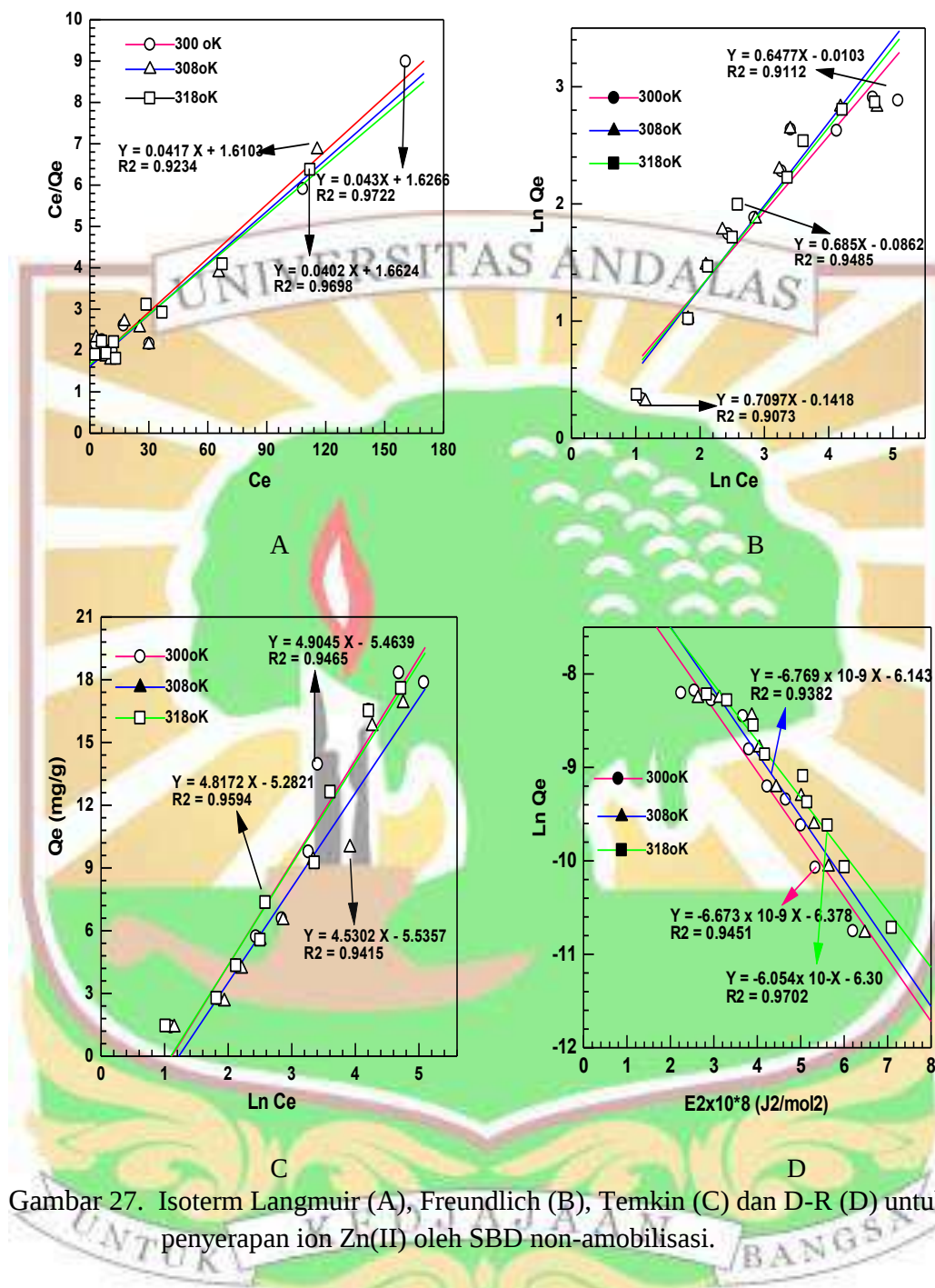
Isoterm adsorpsi untuk ion Zn(II) pada biosorben SBD-non amobil dapat dilihat pada Gambar 27(A-D). Isotherm Langmuir menggunakan biosorben SBD-amobilisasi dapat dilihat pada Gambar 27(A). Dari slope dapat ditentukan nilai Q_m teori untuk ion logam Zn(II) adalah meningkat dengan meningkatnya suhu yaitu 23,26; 23,98; 24,87 mgg^{-1} . Nilai r^2 yaitu 0,968; 0,923; 0,969 ini berarti

isotherm Langmuir lebih sesuai untuk biosorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi, sedangkan nilai K_L sedikit menurun dengan meningkatnya suhu, ini berarti bahwa sedikit berkurang teradsorpsi pada lapisan monolayer dengan naiknya suhu.

Isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 27(B) dan nilai konstanta Freundlich K_F dan n ditampilkan dalam Tabel 6. Nilai K_F dan n semakin menurun dengan naiknya suhu. Proses adsorpsi yang terjadi bersifat favorable, heterogen dan secara kimia. Nilai r^2 juga mendekati linier yaitu 0,911; 0,907 0,948 ini berarti model isotherm adsorpsi Freundlich juga sesuai untuk adsorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi.

Model isotherm Temkin dapat dilihat pada Gambar 27(C). Nilai konstanta B_T dan K_T ditampilkan dalam Tabel 6. Dari Tabel terlihat bahwa nilai B_T dan K_T meningkat dengan naiknya suhu hal ini berarti bahwa semakin tinggi suhu maka panas adsorpsi semakin meningkat dan bernilai positif, ini berarti bahwa proses biosorpsi antara adsorbat dan adsorben berlangsung secara endotermik. Nilai r^2 yaitu 0,946; 0,942; 0,959 pada suhu 27-45°C. Ini menunjukkan bahwa isotherm Temkin juga sesuai untuk adsorpsi Zn(II) pada biosorben SBD-non amobil.

Model isotherm D-R dapat dilihat pada Gambar 27D. Nilai r^2 untuk isotherm D-R mendekati linier yaitu dari 0,972; 0,969; 0,985 dengan naiknya suhu ini berarti model D-R lebih sesuai untuk adsorpsi Zn(II). Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai $E = 8,654; 8,593; 9,090 \text{ kJmol}^{-1}$ untuk biosorpsi Zn(II). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi Zn(II) pada biosorben non amobilisasi adalah proses kimia dengan mekanisme ion exchange (Fan *et al*, 2008). Nilai konstanta parameter isotherm Langmuir, Freundlich, Temkin dan DR dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.



Gambar 27. Isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C) dan D-R (D) untuk penyerapan ion Zn(II) oleh SBD non-amobilisasi.

Tabel 6. Nilai parameter isotherm Langmuir, Freundlich, Temkin dan D-R pada penyerapan ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan biosorben SBD-non amobilisasi.

Ion Logam	Suhu	Langmuir				Freundlich				Temkin			DR			
		Q_m (mgg ⁻¹)	K_L	Q_{exp}	r^2	K_F	n	Q_e	r^2	b_T (kJ/mol)	K_T	r^2	Q_m (mg/g)	β	E (kJ mol ⁻¹)	r^2
Pb	300	24,331	0,015	16,825	0,953	0,627	1,423	1,307	0,952	0,530	0,224	0,945	157,692	-0,634	8,876	0,969
	308	28,170	0,014	18,725	0,962	0,668	1,409	1,230	0,967	0,504	0,230	0,949	170,110	-0,599	9,130	0,978
	318	60,981	0,012	32,127	0,718	1,026	1,260	1, 918	0,957	0,316	0,309	0,888	152,981	-0,598	9,141	0,965
Cd	300	21,413	0,013	14,904	0,955	0,483	1,437	1,398	0,930	0,599	0,184	0,957	107,302	-0,706	8,414	0,956
	308	19,267	0,019	16,888	0,861	0,699	1,555	1,335	0,920	0,685	0,271	0,871	86,472	-0,579	9,285	0,942
	318	27,541	0,021	29,247	0,895	0,969	1,381	1,302	0,942	0,396	0,309	0,765	171,711	-0,566	9,392	0,899
Zn	300	23,262	0,027	18,330	0,969	0,989	1,554	2,019	0,911	0,509	0,328	0,945	110,902	-0,667	8,654	0,945
	308	23,982	0,026	16,892	0,923	0,867	1,409	1,961	0,907	0,565	0,295	0,942	140,342	-0,677	8,593	0,938
	318	24,873	0,024	17,584	0,969	0,918	1,460	1,838	0,948	0,549	0,334	0,959	120,301	-0,605	9,090	0,970

Tabel 7. Nilai parameter isotherm Langmuir, Freundlich, Temkin dan D-R pada penyerapan ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat.

Ion Logam	Suhu	Langmuir				Freundlich				Temkin			DR			
		Q_m (mgg ⁻¹)	K_L	Q_{exp}	r^2	K_F	n	Q_e	r^2	b_T (kJ mol ⁻¹)	K_T	r^2	Q_m (mgg ⁻¹)	β	E (kJ mol ⁻¹)	r^2
Pb	300	40,322	0,063	34,891	0,965	3,240	1,714	4,63	0,869	0,321	0,989	0,890	255,151	-0,480	10,204	0,894
	308	27,701	0,061	22,560	0,968	2,111	1,598	3,051	0,867	0,436	0,737	0,969	121,552	-0,393	11,282	0,900
	318	26,043	0,049	23,072	0,866	2,271	1,891	3,071	0,829	0,564	0,848	0,886	236,121	-0, 497	10,023	0,845
Cd	300	22,423	0,031	19,271	0,987	1,304	1,780	3,075	0,988	0,551	0,399	0,956	52,132	-0,542	9,602	0,956
	308	24,131	0,036	20,850	0,990	1,488	1,741	2,652	0,939	0,571	0,564	0,953	58,082	-0,509	9,911	0,964
	318	26,352	0,032	23,582	0,939	1,628	1,762	2,051	0,949	0,540	0,532	0,907	60,121	-0,4577	10,451	0,959
Zn	300	29,851	0,017	25,051	0,972	1,112	1,674	1,843	0,983	0,460	0,285	0,930	109,262	-0,615	8,986	0,992
	308	26,740	0,024	21,883	0,981	1,101	1,599	2,301	0,923	0,475	0,314	0,978	88, 292	-0,619	9,010	0,954
	318	21,602	0,030	18,727	0,957	1,428	1,916	2,101	0,945	0,592	0,424	0,818	63,691	-0,473	10,279	0,964

4.5.4. Termodinamika Ion logam Pada Biosorben Biji durian Amobilisasi Ca-alginat dan non amobilisasi.

Parameter termodinamika seperti perubahan energi bebas Gibbs (ΔG), perubahan entalpi (ΔH), dan perubahan entropi (ΔS) dapat dihitung menggunakan konstanta kesetimbangan dengan perubahan temperatur. Perubahan energi bebas Gibbs adalah reaksi penyerapan dengan persamaan berikut :

$$\Delta G = -RT \ln K_L$$

$$\ln K_L = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{R} \cdot \frac{1}{T}$$

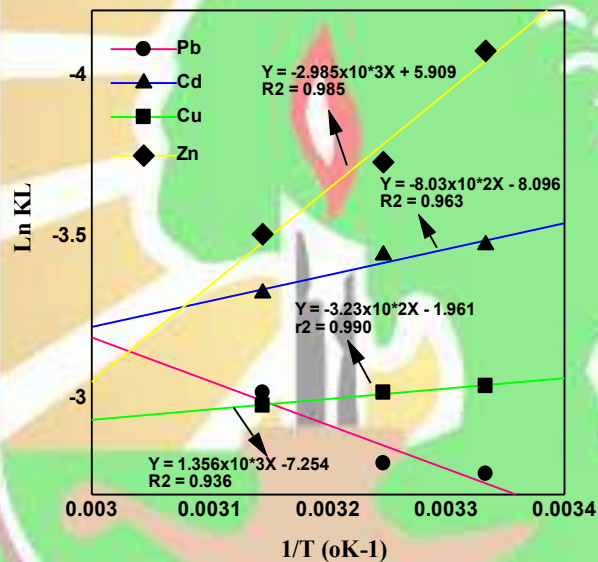
Dimana K_L adalah konstanta kesetimbangan yang diperoleh dari isotherm Langmuir pada suhu berbeda. Nilai ΔH dan ΔS diperoleh dari slope dan intersep plot $\ln K_L$ terhadap $1/T$. Hubungan antara $\ln K_L$ dan $1/T$ didapatkan persamaan garis lurus dengan slope ΔH dan intersep ΔS . Hasil termodinamika pada biosorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben biji durian amobilisasi dan non-amobilisasi dapat dilihat pada Gambar 28-29, sedangkan Nilai ΔG , ΔH dan ΔS dapat dilihat pada Tabel 8-9.

Tabel 8. Parameter termodinamika biosorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben amobilisasi Ca-alginat.

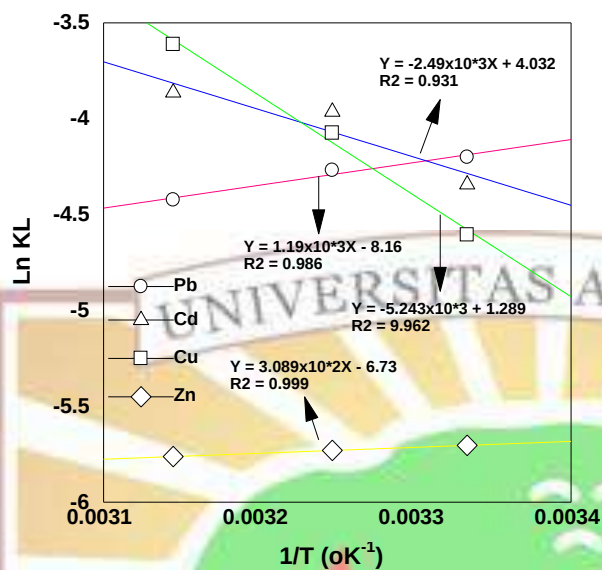
Ion logam	T(°K)	$\Delta G(\text{kJmol}^{-1})$	$\Delta H(\text{kJmol}^{-1})$	$\Delta S(\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1})$
Pb(II)	300	-6,933	-11,273	-60,310
	308	-7,185		
	318	-7,999		
Cd(II)	300	-8,664	6,677	-67,311
	308	-8,788		
	318	-8,818		
Zn(II)	300	-10,162	24,817	+49,127
	308	-9,552		
	318	-9,270		

Tabel 9. Parameter termodinamika biosorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) pada biosorben non-amobilisasi.

Ion logam	T(°K)	ΔG (kJmol ⁻¹)	ΔH (kJmol ⁻¹)	ΔS (Jmol ⁻¹ K ⁻¹)
Pb(II)	300	-10,474	-9,912	67,860
	308	-10,930		
	318	-11,693		
Cd(II)	300	-10,831	20,747	33,529
	308	-10,148		
	318	-10,123		
Zn(II)	300	-14,226	25,681	24,824
	308	-14,673		
	318	-14,234		



Gambar 28. Termodinamika adsorpsi ion-ion logam pada biosorben SBD-amobilisasi.



Gambar 29. Termodinamika ion logam pada biosorben SBD-non amobil.

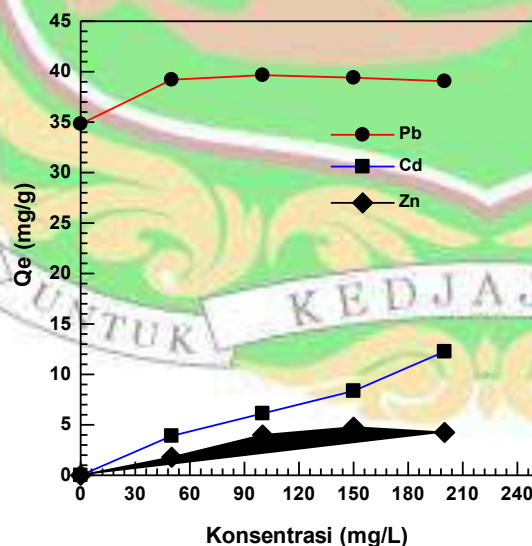
Dari Gambar 28-29 serta dari Tabel 8 dan 9 diperoleh nilai ΔG , ΔS dan ΔH . Pada biosorben SBD-amobilisasi Nilai ΔG bernilai negatif untuk semua ion logam pada suhu berbeda, ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara spontan dan nilai ΔG menurun dengan meningkatnya suhu ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung spontan sebanding dengan temperatur, peningkatan kapasitas adsorpsi pada suhu tinggi ditandai dengan semakin terbukanya luas permukaan biosorben atau permukaan teraktifasi. Untuk ion logam Pb(II), ΔH bernilai (-) ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksoterm (tidak bergantung pada suhu). Nilai ΔS bernilai (-) menunjukkan ketidakteraturan semakin menurun pada antarfase padatan dan larutan selama proses biosorpsi ion logam pada biosorben biji durian teramobilisasi alginate. Pada ion Cd(II) dan Zn(II), nilai entalpi (ΔH) bernilai positif, ini menunjukkan bahwa proses biosorpsi berlangsung secara endoterm (bergantung pada suhu), sedangkan nilai ΔS bernilai negatif untuk Cd(II) dan bernilai positif untuk Zn(II). Sementara untuk biosorben SBD-non amobilisasi nilai entropi (ΔG) bernilai (-) yang menunjukkan proses adsorpsi berlangsung secara spontan, ΔH bernilai (-) untuk ion logam Pb(II) ini menunjukkan bahwa adsorpsi ion Pb(II) pada permukaan biosorben berlangsung secara eksoterm, dan entropi (ΔS) bernilai (+) ini berarti ketidakteraturan semakin meningkat pada antar fase padatan dan larutan.

Untuk ion logam Cd(II) dan Zn(II) entalpi (ΔH) bernilai (+), ini menunjukkan bahwa adsorpsi berlangsung secara endoterm (bergantung pada suhu). Nilai ΔS bernilai (+) ini menunjukkan bahwa ketidakteraturan semakin meningkat pada antarfase padatan dan larutan selama proses biosorpsi ion logam pada biosorben SBD-non amobil.

4.6. Sistem Biosorpsi Campuran Ion Logam Pada Biosorben Amobilisasi.

4.6.1. Kompetisi antara ion logam Pb(II) dengan adanya logam lain.

Kompetisi antara ion logam Pb(II) dengan ion logam lain yaitu Cd(II) dan Zn(II) dalam sistem larutan terner dipelajari dengan konsentrasi ion logam Pb(II) konstan. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 30. Kapasitas penyerapan maksimum ion Pb(II) pada saat mula-mula yaitu $34,826 \text{ mgg}^{-1}$, pada saat ion logam Pb(II) dengan konsentrasi 200 mgL^{-1} dicampurkan dengan ion logam lain Cd(II) dan Zn(II) dengan konsentrasi masing-masing (50, 100, 150 dan 200 mgL^{-1}) didapatkan kapasitas penyerapan Pb(II) meningkat menjadi 39,211; 39,664; 39,406 dan $39,054 \text{ mgg}^{-1}$. Dengan adanya ion logam Cd(II) dan Zn(II) dalam larutan maka kapasitas penyerapan Pb(II) meningkat sebesar 12,58-13,89 % dan akhirnya menjadi konstan yang berarti terjadi efek sinergitisme antara ion Pb(II) dengan ion logam Cd(II) dan Zn(II) dalam larutan.



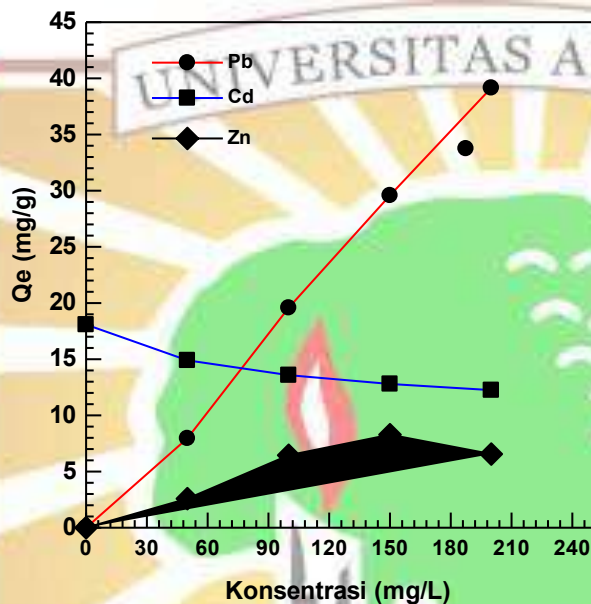
Gambar 30. Adsorpsi ion logam Pb(II) dengan adanya ion logam lain dalam larutan : 20 mL larutan ion logam campuran, konsentrasi Pb(II) = 200 mgL^{-1} , Cd(II) dan Zn(II) = 0, 50, 100, 150, 200 mgL^{-1} .

Sementara untuk ion logam Cd(II) dan Zn(II) yang diserap oleh adsorben pada sistem multikomponen lebih kecil dibandingkan pada sistem tunggal, hal ini disebabkan karena ion logam tersebut tidak menyerap pada pH optimal masing-masing ion logam. Dalam larutan terner diperoleh kapasitas adsorpsi $Pb > Cd > Zn$, kapasitas penyerapan Pb(II) meningkat dengan adanya ion logam Cd(II) dan Zn(II), hal ini disebabkan karena sifat keelektropositifan ion Pb(II) menjadi bertambah akibat daya dorong dari ion Cd(II) dan Zn(II). Dengan adanya ion Cd(II) dan Zn(II) memberikan sifat sinergisme sehingga kapasitas penyerapan Pb(II) sedikit meningkat. Kompetisi ion Pb^{2+} dengan adanya ion Cd(II) dalam larutan biner dipelajari oleh Mohapatra *et al* (2010) dimana kapasitas penyerapan Pb(II) meningkat dari 109 mg/g menjadi 222,2 mg/g. Dari hasil terlihat bahwa sifat-sifat adsorpsi menjadi lebih komplis dalam larutan terner. Ada beberapa faktor yang dipertimbangkan antara ion logam yang diserap dan sifat ion logam seperti keelektronegatifan ion logam, gaya elektrostatis muatan. Logam dengan keelektronegatifan yang besar terserap lebih cepat dimana nilai keelektronegatifan Pb^{2+} (2,33), Cd^{2+} (1,69) dan Zn^{2+} (1,65). Dengan meningkatnya ukuran ion, nilai absolut entalpi hidrasi menjadi berkurang dimana urutan nilai entalpi hidrasi ion $Pb > Cd > Zn$ (Mohapatra *et al*, 2010). Kompetisi ion Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) juga dipelajari oleh Ayhan (2015), dimana terjadi pengurangan kapasitas biosorpsi Pb(II) dengan adanya ion tersebut.

4.6.2. Kompetisi ion Logam Cd(II) dengan ion logam Pb(II) dan Zn(II).

Pengaruh ion logam lain terhadap kapasitas penyerapan ion Cd(II) dapat dilihat pada Gambar 31. Dari Gambar 31 dapat dilihat bahwa kapasitas penyerapan ion Cd(II) awal pada konsentrasi 200 mgL^{-1} dalam sistem logam tunggal adalah $18,08 \text{ mgg}^{-1}$, kemudian setelah ditambahkan ion logam lain maka kapasitas penyerapan Cd sedikit berkurang menjadi 14,90; 13,58; 12,8 dan 12,25 mgg^{-1} atau berkurang sebesar 17,58-32,25% ketika ditambahkan ion logam Pb(II) dan Zn(II) dengan konsentrasi 50; 100; 150 dan 200 mgL^{-1} . Jadi adanya ion logam lain sangat mempengaruhi kapasitas penyerapan ion Cd(II) oleh biosorben biji durian teramobilisasi alginat, akan tetapi ion Pb(II) kapasitas penyerapannya lebih tinggi dibandingkan dengan penyerapan tunggal, hal ini disebabkan karena ion

Pb(II) memiliki afinitas yang lebih besar, sehingga lebih banyak terserap pada biosorben. Sedangkan untuk ion logam dan Zn(II) yang berada dalam larutan campuran, kapasitas penyerapannya jauh lebih rendah dibandingkan larutan tunggalnya.



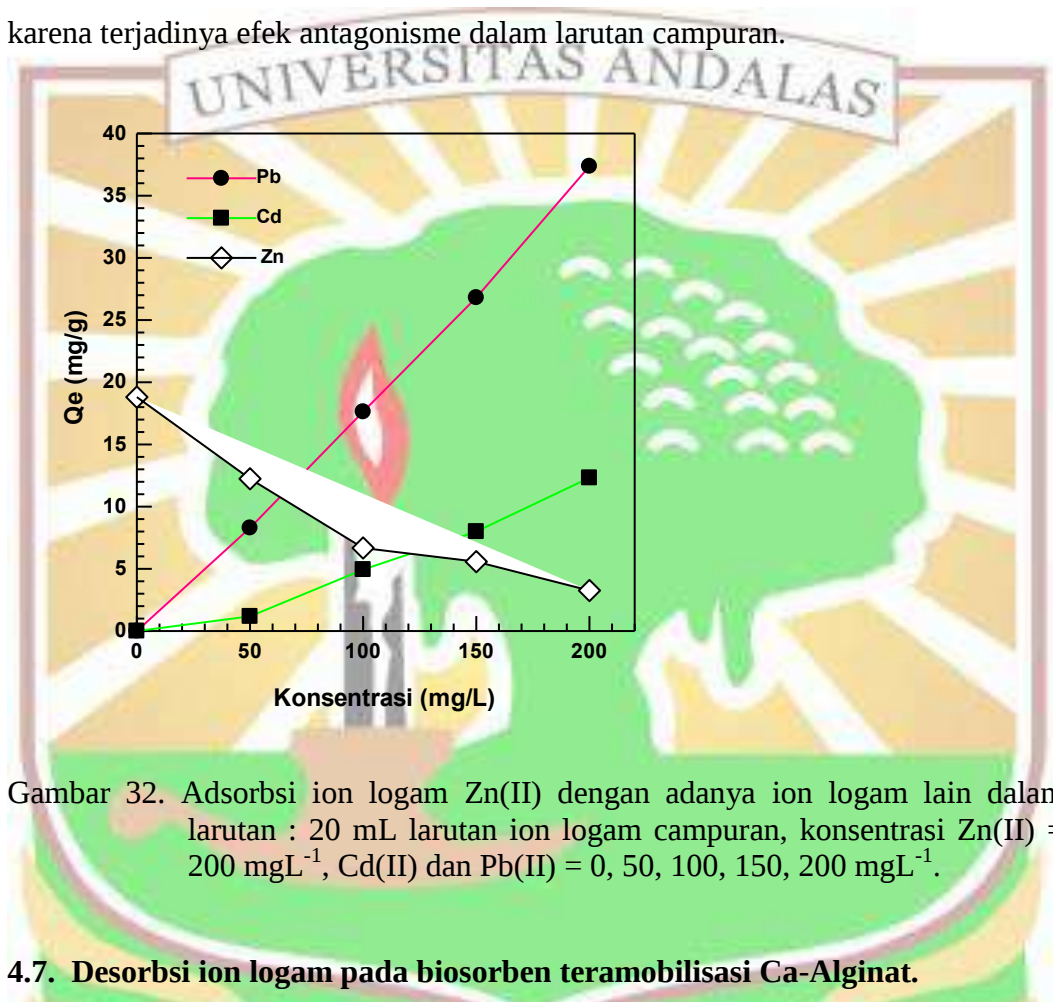
Gambar 31: Adsorpsi ion logam Cd(II) dengan adanya ion logam lain dalam larutan : 20 mL larutan ion logam campuran, konsentrasi Cd(II) = 200 mgL^{-1} , Pb(II) dan Zn(II) = 0; 50; 100; 150 dan 200 mgL^{-1} .

4.6.3. Kompetisi ion Logam Zn(II) dengan ion logam Pb(II) dan Cd(II).

Kompetisi antara ion logam Zn(II) dengan ion logam lain yaitu Cd(II) dan Pb(II) dalam sistim larutan terner dipelajari dengan konsentrasi ion logam Zn(II) konstan dan hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 32. Kapasitas penyerapan maksimum ion Zn(II) pada saat mula-mula yaitu $18,811 \text{ mgg}^{-1}$. Pada saat ion logam Zn(II) dengan konsentrasi 200 mgL^{-1} dicampurkan dengan ion logam lain Cd(II) dan Pb(II) dengan konsentrasi masing-masing (50, 100, 150 dan 200 mgL^{-1}) didapatkan kapasitas penyerapan Zn(II) menurun menjadi 12,241; 6,675; 5,576 dan $3,254 \text{ mgg}^{-1}$ atau berkurang sebesar 18,81-82,70% dengan adanya ion-ion lain dalam larutan.

Dengan adanya ion logam lain dalam larutan maka kapasitas penyerapan Zn(II) sangat jauh menurun, hal ini disebabkan terjadinya kompetisi dengan ion

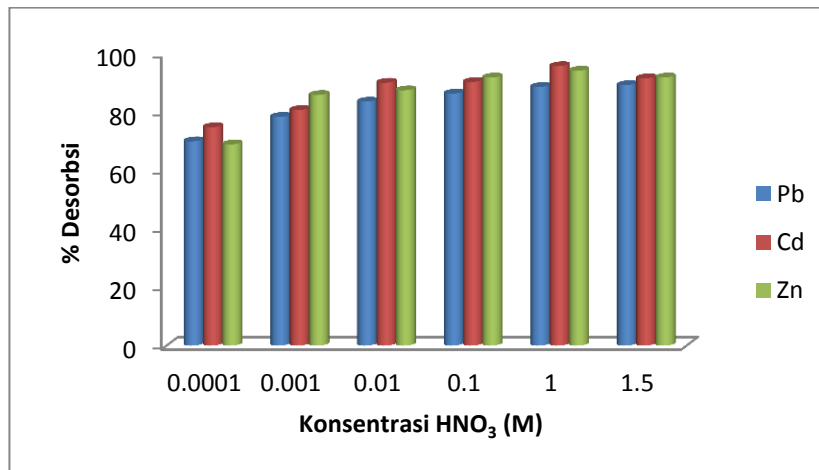
logam lain, dimana ion logam Zn(II) memiliki afinitas yg lebih rendah dibanding ion logam lain. Sedangkan ion logam Pb(II) dalam larutan campuran tidak jauh berbeda penyerapannya dibandingkan dengan ion Pb(II) dalam penyerapan tunggal. Untuk ion logam Zn(II) terjadi penurunan kapasitas penyerapan dalam larutan campuran dibandingkan dengan larutan tunggalnya, hal ini disebabkan karena terjadinya efek antagonisme dalam larutan campuran.



Gambar 32. Adsorpsi ion logam Zn(II) dengan adanya ion logam lain dalam larutan : 20 mL larutan ion logam campuran, konsentrasi Zn(II) = 200 mgL^{-1} , Cd(II) dan Pb(II) = 0, 50, 100, 150, 200 mgL^{-1} .

4.7. Desorpsi ion logam pada biosorben teramobilisasi Ca-Alginat.

Desorpsi dilakukan untuk melepaskan kembali ion logam yang diserap oleh biosorben biji durian teramobilisasi Ca-alginat dengan menggunakan larutan pendesorpsi seperti asam-asam mineral, dalam hal ini dilakukan dengan menggunakan asam nitrat. Asam nitrat yang digunakan untuk mengelusi ion-ion logam tersebut dari permukaan biosorben dibuat dengan berbagai konsentrasi HNO_3 yaitu dari 0,0001-1,5 M. Proses desorpsi terjadi melalui proses pertukaran ion H^+ pada HNO_3 dengan ion logam yang terikat pada gugus fungsi yang ada pada biosorben, hasil desorpsi dapat dilihat pada Gambar 33.



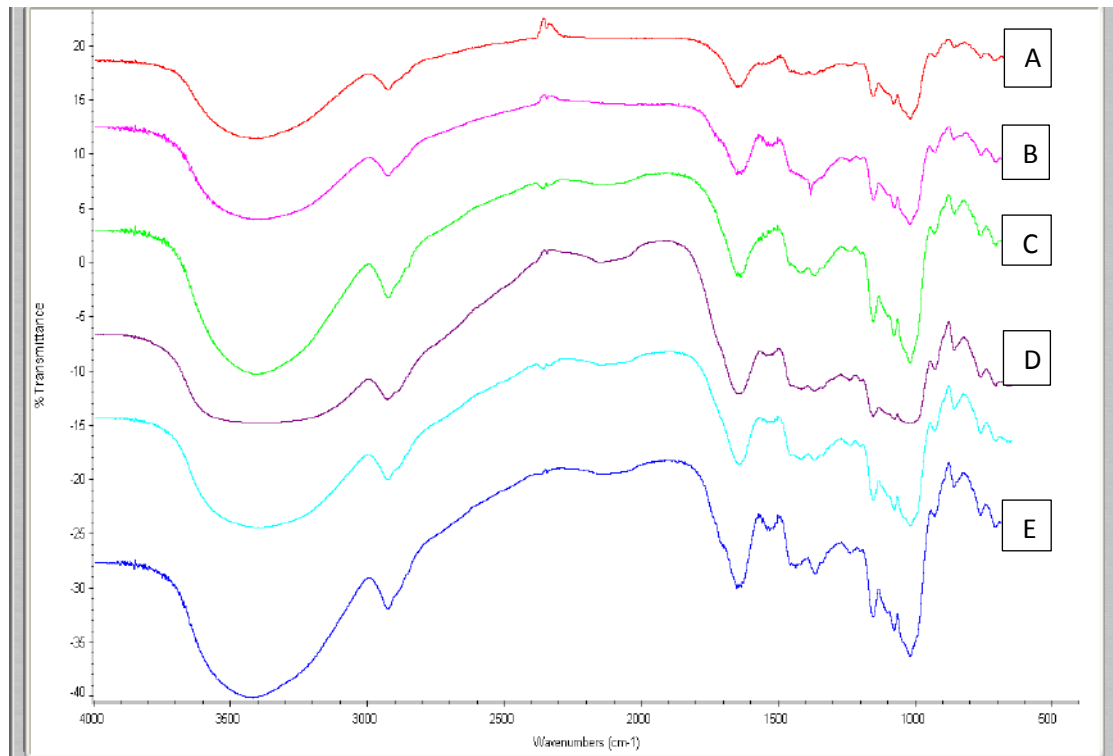
Gambar 33. Pengaruh konsentrasi HNO_3 terhadap % efisiensi desorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II).

Dari Gambar 33 dapat terlihat bahwa % efisiensi desorpsi dari masing-masing ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) menggunakan HNO_3 . Dari Gambar terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi HNO_3 maka % desorpsi akan semakin tinggi dan maksimum diperoleh pada konsentrasi HNO_3 1M untuk Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dengan efisiensi desorpsi yaitu 88,67; 95,78; 94,24% masing-masing, sedangkan untuk ion Pb(II) efisiensi maksimal pada konsentrasi 1,5M dengan persen efisiensi desorpsi 89,31%, hal ini disebabkan karena Pb(II) terikat sangat kuat pada gugus fungsi yang ada pada biosorben SBD-amobilisasi dan efisiensi desorpsi tidak terlalu tinggi dibanding ion logam lain. Semakin tinggi konsentrasi asam nitrat yang digunakan, maka % efisiensi desorpsi semakin besar karena ion H^+ dari asam HNO_3 maka semakin rendah pH larutan, pada pH yang rendah ion logam yang terikat pada gugus fungsi akan terlepas dan digantikan oleh ion H^+ sehingga terjadi pertukaran ion (ion exchanger).

4.8. Karakterisasi Biosorben non amobilisasi dan amobilisasi Ca-alginat.

4.8.1. Analisis FTIR Biosorben non-amobil dan amobilisasi Ca-alginat.

Analisis FT-IR biosorben sebelum dan setelah biosorpsi ion logam digunakan untuk melihat gugus fungsi yang terdapat dalam biosorben dan bagaimana interaksinya dengan ion logam setelah proses adsorpsi. Hasil analisis FT-IR biosorben serbuk biji durian non amobil sebelum dan setelah biosorpsi dapat dilihat pada Gambar 34.



Gambar 34. Spektra FT-IR biosorben serbuk biji durian (SBD)-non amobil sebelum dan setelah penyerapan ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). A. Sebelum penyerapan non treatmen, B. Sebelum penyerapan-HNO₃, C. SBD-Pb, D. SBD-Cd, E. SBD-Zn.

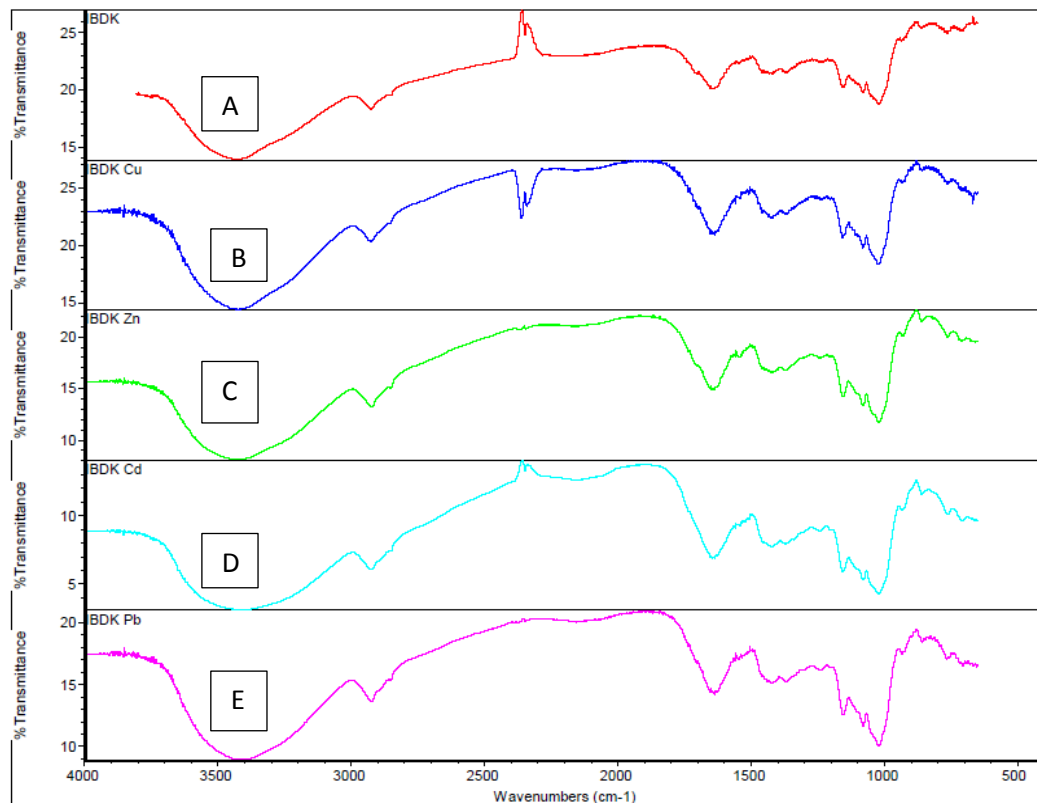
Metoda spektroskopi FT-IR digunakan untuk memperoleh informasi gugus fungsi yang terdapat pada biosorben sebelum berinteraksi dan setelah berinteraksi dengan ion logam. Dari Gambar 34 diperoleh bahwa biosorben yang sudah ditreatmen dengan HNO₃ terdapat beberapa gugus fungsi seperti pada puncak melebar pada angka gelombang 3393,35 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi dari hidroksil (-OH) atau amina (-NH₂). Puncak pada 2929,12 cm⁻¹ ditandai dengan adanya gugus -CH, puncak pada 1654,56 cm⁻¹ merupakan vibrasi stretching gugus karboksil (-C=O). Pita pada angka gelombang 1023-1154,67 cm⁻¹ ditandai dengan stretching C-O dari alkohol dan asam karboksilat. Setelah terjadi proses penyerapan ion logam maka terjadi vibrasi stretching asimetris dari angka gelombang 3393,35 menjadi 3423,18; 3445,23; 3447,16; dan 3423,20 cm⁻¹ untuk ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) masing-masing. Perubahan dalam puncak adsorpsi hidroksil (-OH) menunjukkan bahwa gugus hidroksil dapat berubah dari multimer ke monopolimer atau keadaan disosiasi lain. Ini menunjukkan bahwa derajat polimerisasi hidroksil dalam lignoselulose menurun setelah berikatan dengan ion logam. Perubahan pita serapan juga terjadi pada angka gelombang

1654,56 cm^{-1} menjadi 1654,09; 1647,08; 1653,46; 1654,41 cm^{-1} yang menandai terjadinya pergeseran puncak karboksilat setelah berikatan dengan Pb, Cd dan Zn serta puncak gugus fungsi C-O bergeser dari 1023 cm^{-1} menjadi 1023,24; 1022,59; 1020,91 cm^{-1} . Hasil menunjukkan bahwa gugus karboksil bebas berubah menjadi karboksilat dimana terjadi reaksi antara ion logam dengan gugus karboksil dari biosorben. Selanjutnya proses ion exchange terjadi bila ion logam dalam larutan dipindahkan dari larutan ke biosorben dan ikatan kimia terbentuk antara ion logam dengan gugus karboksil ($-\text{C}=\text{O}$), hidroksil ($-\text{OH}$), amina ($-\text{NH}_2$) (Anayur *et al*, 2009).

Hasil analisis FT-IR pada biosorben SBD-teramobilisasi alginate sebelum biosorpsi dan setelah biosorpsi ion logam dapat dilihat pada Gambar 35. Dari hasil analisis FTIR Gambar 35 diperoleh bahwa biosorben yang sudah diamobilisasi dengan alginat terdapat beberapa gugus fungsi seperti pada puncak melebar pada angka gelombang 3424,20 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi dari hidroksil ($-\text{OH}$) atau amina ($-\text{NH}_2$).

Dari Gambar 35 dapat dilihat bahwa puncak pada 2925,21 cm^{-1} ditandai dengan adanya gugus $-\text{CH}$, puncak pada 1636,91 cm^{-1} merupakan vibrasi stretching gugus karboksil ($-\text{C}=\text{O}$). Pita pada angka gelombang 1023,65-1158,86 cm^{-1} ditandai dengan stretching C-O dari alkohol dan asam karboksilat. Setelah terjadi proses penyerapan ion logam maka terjadi vibrasi stretching asimetris dari angka gelombang 3424,20 menjadi 3416,65; 3423,26; 3447,16; dan 3423,62 cm^{-1} untuk ion logam Pb(II), Cd(II), Cu(II) dan Zn(II) masing-masing. Perubahan dalam puncak adsorpsi hidroksil ($-\text{OH}$) menunjukkan bahwa gugus hidroksil dapat berubah dari multimer ke monopolimer atau keadaan disosiasi lain. Ini menunjukkan bahwa derajat polimerisasi hidroksil dalam lignoselulose menurun dengan setelah berikatan dengan ion logam. Perubahan pita serapan juga terjadi pada angka gelombang 1636,31 cm^{-1} menjadi 1637,71; 1647,74; 1637,0; 1637,73 cm^{-1} yang menandai terjadinya pergeseran puncak karboksilat setelah berikatan dengan Pb, Cd dan Zn serta puncak gugus fungsi C-O bergeser dari 1023,65 menjadi 1023,33; 1021,69; 1024,76; 1022,18 cm^{-1} . Hasil menunjukkan bahwa gugus karboksil bebas berubah menjadi karboksilat dimana terjadi reaksi antara ion logam dengan gugus karboksil dari biosorben. Selanjutnya proses ion

exchange terjadi bila ion logam dalam larutan dipindahkan dari larutan ke biosorben dan ikatan kimia terbentuk antara ion logam dengan gugus karboksil ($-C=O$), hidroksil ($-OH$), amina ($-NH_2$) (Anayurtet *al*, 2009). Hasil yang sama juga dilaporkan pada biosorpsi Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa jamur *Botritis cinerea* (Akat *et al*, 2005).

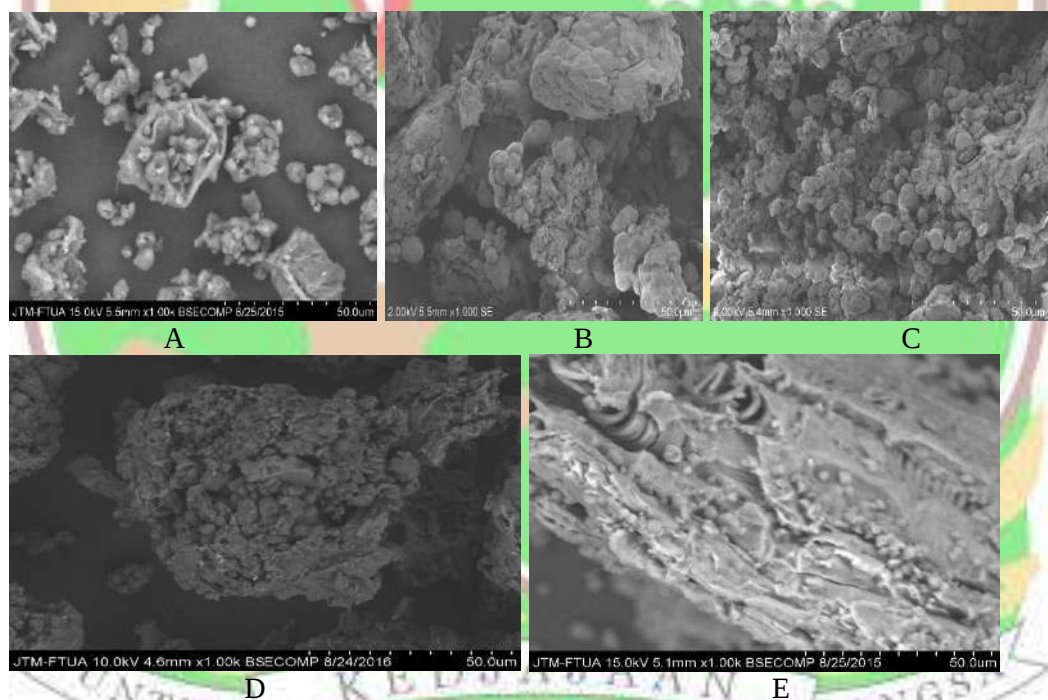


Gambar 35. Spektra FT-IR biosorben teramobilisasi alginate sebelum dan setelah biosorpsi. A. SBD-amobil awal, B. amobil-Cu, C. amobil-Zn, D. Amobil Cd dan E. amobil-Pb.

4.8.2. FE-SEM Serbuk Biji Durian Non amobil.

FE-SEM (*Field Emission Spectroscopy*) digunakan untuk melihat morfologi permukaan dari biosorben apakah permukaan biosorben terdapat pori-pori atau rongga yang berguna untuk proses penyerapan dan juga apakah ion logam sudah berikatan pada biosorben. Analisis SEM dapat memberi informasi perubahan morfologi permukaan secara kualitatif dengan adanya ion logam yang diserap. Untuk tujuan kualitatif SEM harus digabung dengan EDX. Dari Gambar 36 dapat dilihat bahwa morfologi permukaan biosorben pada keadaan awal terdapat pori/rongga yang berguna untuk proses penyerapan. Untuk biosorben

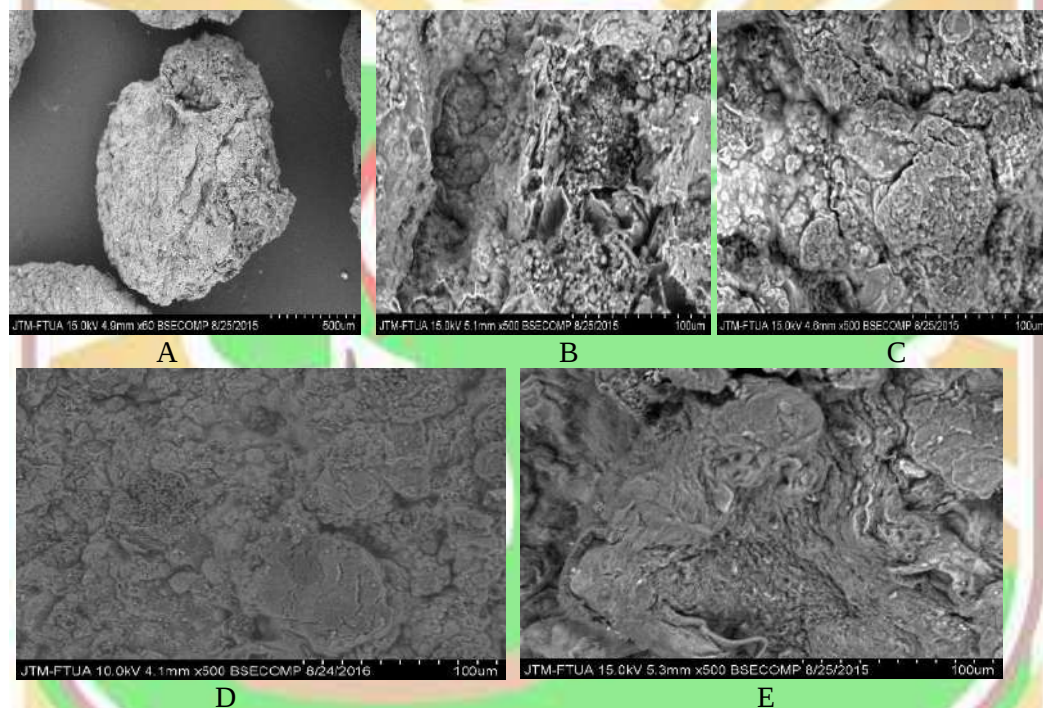
awal yang belum ditreatmen terlihat ukuran pori lebih kecil dan morfologi permukaan seperti granular dan tidak beraturan. Setelah ditreatmen dengan HNO_3 terlihat bahwa morfologi permukaan biosorben memiliki pori-pori yang banyak, permukaan bergranular dan tidak beraturan. Setelah menyerap ion logam Pb(II) bentuk permukaan serbuk biji durian terjadi perubahan, rongga-rongga yang kosong terlihat telah berisi oleh ion logam Pb(II) , bentuk permukaan sedikit lebih datar dan teratur. Ini ditandai bahwa ion logam telah berikatan dengan gugus fungsi yang ada dalam biosorben. Pada Gambar (d) setelah ion logam berisi ion logam Cd(II) permukaan biosorben yang bergranular, rongga-rongga yang kosong sudah berisi dengan ion logam Cd(II) dan struktur permukaan menjadi lebih datar dan beraturan. Untuk biosorben yang mengikat ion logam Zn(II) permukaan biosorben nampak lebih halus, datar dan beraturan. Diperkirakan ion logam Zn(II) lebih banyak mengisi pori yang ada dipermukaan biosorben.



Gambar 36. SEM biosorben SBD non-amobilisasi sebelum penyerapan-tanpa treatmen (A), treatmen dengan HNO_3 (B), biosorben SBD non amobil setelah penyerapan Pb (C), setelah penyerapan Cd (D) dan setelah penyerapan Zn (E).

4.8.3. SEM Biosorben SBD-Amobilisasi Ca-alginat

Morfologi permukaan biosorben serbuk biji durian teramobilisasi Ca-alginat dapat dilihat pada Gambar 37. Dari Gambar 37 dapat terlihat bahwa permukaan SBD yang diamobilisasi alginate dengan pembesaran 60x dilihat penampang luar biosorben. SBD awal bentuknya bergranular setelah diamobilisasi seperti terperangkap/ trapment dalam matriks polimer Ca-alginat, berbentuk bead/butiran manik-manik kecil.



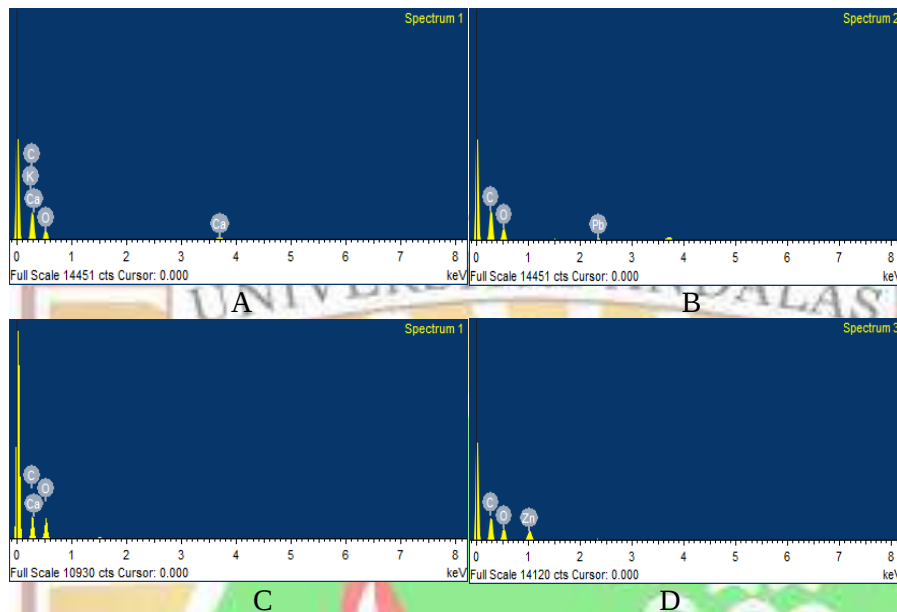
Gambar 37. SEM Biosorben SBD teramobilisasi alginate : (A) Keadaan awal pembesaran 60x, (B) keadaan awal pembesaran 500x, (C) Setelah menyerap ion Pb(II), (D) setelah menyerap ion Cd(II) dan (E) setelah menyerap ion Zn(II).

Pada pembesaran sampai ukuran 500 x untuk melihat struktur bagian dalam biosorben dan terlihat bahwa biosorben memiliki pori-pori yang lebih banyak sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi, bentuk permukaan yang kasar dan tidak beraturan. Setelah menyerap ion logam struktur permukaan lebih seragam dan datar, pori-pori sudah tertutup ini menandakan bahwa ion logam sudah terikat pada gugus fungsi yang ada pada biosorben. Hasil penelitian lain menjelaskan bahwa replikasi alginat karena substitusi ion Ca(II) oleh ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) dalam struktur “egg box” khususnya dalam blok asam

Analisis Energy Dispersive X-ray (EDX) memberikan informasi unsur-unsur melalui analisis emisi X-ray yang disebabkan oleh energy elektron yang tinggi (Vinodhini dan Das, 2009). Dari spektrum EDX yang diperoleh pada biosorben biji durian teramobilisasi alginat sebelum penyerapan terdapat beberapa komponen unsur seperti C, O, N, Na, Mg, K dan Ca seperti terlihat Pada Tabel 10. Setelah penyerapan ion logam Pb(II) unsur N, Na, Mg, K dan Ca hilang dan terdapat unsur Pb yang sudah terikat pada biosorben, begitu juga setelah penyerapan ion logam Cd(II) dan Zn(II), ion logam tersebut terdapat pada biosorben setelah penyerapan, hal ini berarti bahwa telah terjadi pengikatan ion logam oleh biosorben. Pada biosorben yang teramobil Ca-alginat pada keadaan mula-mula terdapat ion Ca, sedangkan setelah penyerapan ion logam Pb(II) ion Ca berkurang, hal ini disebabkan terjadinya pertukaran ion (*ion exchange*) antara ion logam yang diserap dengan ion Ca.

Tabel 10. Komposisi Unsur Biosorben SBD-Teramobilisasi Ca-alginat.

[illegible]



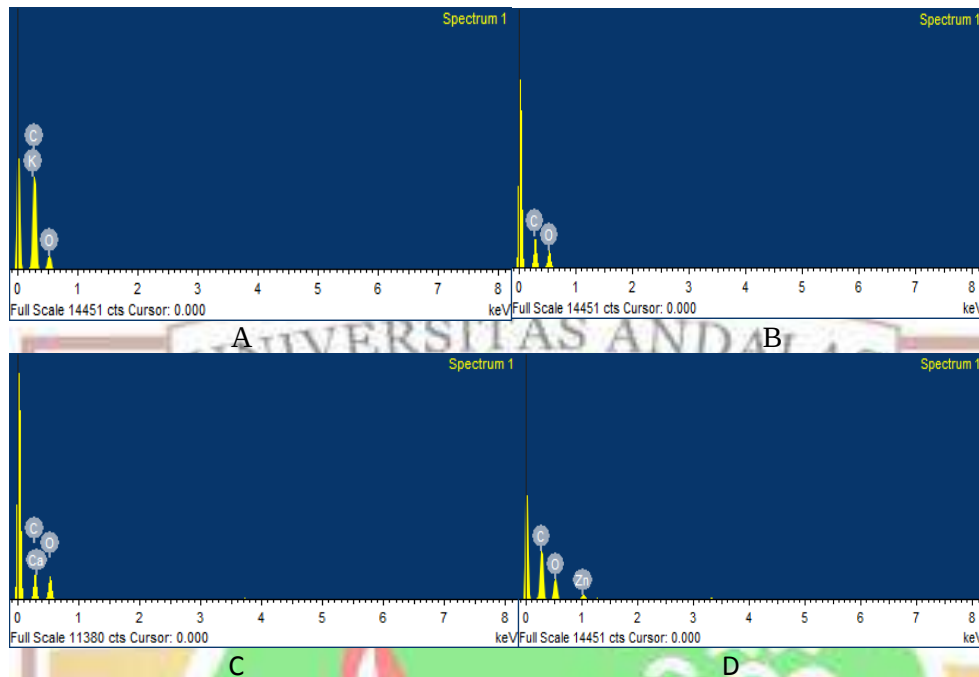
Gambar 39. EDX Biosorben SBD-amobil awal (A) setelah penyerapan Pb(B), setelah penyerapan Cd (C) dan setelah penyerapan Zn (D).

4.8.5. EDX Biosorben SBD-Non Amobilisasi.

Hasil analisis EDX untuk biosorben serbuk biji durian non amobilisasi dapat dilihat pada Tabel 11. Untuk biosorben sebelum penyerapan terdapat beberapa unsur seperti C, O, N, P dan K. Setelah terjadi penyerapan unsur-unsur P dan K hilang dan terdapat unsur Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) setelah biosorben menyerap masing-masing ion logam.

Tabel 11. Komposisi unsur Biosorben SBD-non amobilisasi.

Biosorben	Komposisi Unsur (% berat)								Total
	C	O	N	P	K	Pb	Cd	Zn	
Sebelum penyerapan	66,12	25,19	7,97	9,27	0,46	-	-	-	100
Setelah penyerapan Pb	50,95	39,54	4,07	-	-	5,44	-	-	100
Setelah penyerapan Cd	50,43	48,46	-	-	-	-	1,12	-	100
Setelah penyerapan Zn	50,99	39,36	5,03	-	-	-	-	4,62	100



Gambar 40 . EDX Biosorben SBD non amobil awal (A) setelah penyerapan Pb(B), setelah penyerapan Cd (C) dan setelah penyerapan Zn (D).

4.8.6. Hasil Analisis XRF

Analisis XRF dilakukan untuk menentukan unsur-unsur yang terdapat dalam biosorben sebelum dan setelah penyerapan. Hasil analisis XRF dapat dilihat pada Tabel 12-15.

Tabel 12. Hasil analisis XRF SBD-non amobil sebelum penyerapan.

Unsur		Geologi		Oksida	
Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Mg	11,965	MgO	15,73	MgO	15,707
P	11,85	P ₂ O ₅	19,025	P ₂ O ₅	18,984
S	13,522	SO ₃	22,057	SO ₃	22,001
Cl	0,504	Cl	0,313	K ₂ O	39,742
K	57,244	K ₂ O	39,872	TiO ₂	0,116
Ti	0,139	Ti	0,07	Cr ₂ O ₃	0,043
Cr	0,059	Cr	0,03	MnO	0,04
Mn	0,062	Mn	0,031	Fe ₂ O ₃	0,063
Fe	0,853	Fe ₂ O ₃	0,61	Ag ₂ O	2,177
Ag	3,343	Ag	2,033	Cl	0,312

Tabel 13. Hasil analisis XRF SBD-non amobil setelah penyerapan ion Pb(II).

Unsur		Geologi		Oksida	
Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Mg	8,958	MgO	11,776	MgO	11,669
Al	4,651	Al ₂ O ₃	6,642	Al ₂ O ₃	6,569
Si	4,342	SiO ₂	6,752	SiO ₂	6,668
P	9,113	P ₂ O ₅	14,474	P ₂ O ₅	14,268
S	15,324	SO ₃	25,045	SO ₃	24,634
K	5,295	K ₂ O	3,666	K ₂ O	3,559
Ca	14,878	CaO	11,611	CaO	11,320
Cr	0,052	Cr	0,028	Cr ₂ O ₃	0,041
Mn	0,105	Mn	0,057	MnO	0,072
Fe	1,248	Fe ₂ O ₃	0,963	Fe ₂ O ₃	0,943
Ag	6,174	Ag	3,527	Ag ₂ O	3,918
Pb	27,157	Pb	13,916	PbO	14,631

Tabel 14. Hasil analisis XRF SBD-amobil sebelum penyerapan.

Unsur		Geologi		Oksida	
Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Mg	11,354	MgO	14,711	MgO	14,703
Al	4,768	Al ₂ O ₃	6,604	Al ₂ O ₃	6,601
Si	3,922	SiO ₂	5,928	SiO ₂	5,925
P	16,761	P ₂ O ₅	26,017	P ₂ O ₅	26
Cl	12,882	Cl	8,041	-	-
Ca	49,752	CaO	38,372	CaO	38,331
Fe	0,273	Fe ₂ O ₃	0,189	Fe ₂ O ₃	0,189

Dari Tabel 12 dapat dilihat beberapa unsur yang terkandung dalam biosorben SBD-non amobil sebelum penyerapan. Ada beberapa unsur yang terkandung dalam biosorben sebelum penyerapannya diantaranya unsur utama seperti Mg, P, S dan K dan tidak terdapat unsur logam yang akan diserap. Setelah biosorben menyerap ion logam Pb seperti pada Tabel 13 selain unsur utama juga terdapat unsur Pb sebesar 27,157%, sehingga dipastikan bahwa ion logam Pb(II) sudah terserap pada permukaan biosorben maupun terdifusi kedalam intrapartikel.

Tabel 15. Hasil analisis XRF SBD-amobil setelah penyerapan Pb(II).

Unsur		Geologi		Oksida	
Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Al	1,048	Al ₂ O ₃	1,808	Al ₂ O ₃	1,773
Si	0,469	SiO ₂	0,906	SiO ₂	0,886
P	1,955	P ₂ O ₅	3,987	P ₂ O ₅	3,888
S	1,215	SO ₃	2,652	SO ₃	2,575
Cl	1,777	Cl	1,509	-	-
Ca	32,728	CaO	38,309	CaO	36,823
Fe	0,721	Fe ₂ O ₃	0,482	Fe ₂ O ₃	0,463
Ag	4,988	Ag	4,197	Ag ₂ O	4,34
Pb	52,896	Pb	43,651	PbO	45,048

Pada biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginate sebelum penyerapan hasil analisis XRF dapat dilihat pada Tabel 14. Unsur-unsur yang terkandung dalam biosorben yaitu terdapat Mg, Al, P, S dan Ca dalam jumlah banyak. Unsur Ca lebih dominan dalam biosorben disebabkan karena serbuk biji durian teramobilisasi dalam matriks polimer Ca-alginat, sedangkan unsur logam yang akan diserap tidak ditemukan dalam biosorben. Setelah dilakukan proses penyerapan terhadap ion logam Pb(II) ditemukan unsur Pb dalam jumlah 52,896%, seperti dalam Tabel 15. Jumlah unsur Pb dalam biosorben SBD-amobilisasi Ca-alginat jauh lebih banyak dibandingkan non amobilisasi, hal ini membuktikan bahwa biosorben SBD-teramobilisasi dalam matrik Ca-alginat memiliki kemampuan penyerapan yang lebih tinggi dibanding SBD-non amobilisasi.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa serbuk biji durian non amobilisasi dan teramobilisasi Ca-alginat dapat digunakan sebagai biosorben untuk penyerapan ion-ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II).

Pada proses biosorpsi diperoleh kondisi optimal pH pada biosorben SBD-amobilisasi diperoleh pada pH 4; 5 dan 4 sedangkan pada biosorben SBD-non amobilisasi pada pH 4; 5 dan 5 untuk masing-masing ion Pb(II), Cd(II) dan Zn(II).

Dari data waktu kontak diperoleh kondisi optimal waktu kontak pada biosorben SBD-amobilisasi untuk ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II) yaitu 120 menit, 45 menit dan 120 menit untuk masing-masing ion logam serta pada biosorben SBD-non amobilisasi adalah 75 menit, 45 menit dan 75 menit untuk masing-masing ion logam.

Data variasi waktu kontak ion-ion tersebut memenuhi beberapa model kinetika adsorpsi yaitu pseudo first order, pseudo second order dan Elovic.

Konsentrasi optimal diperoleh pada konsentrasi 250 mgL^{-1} , 250 mgL^{-1} dan 300 mgL^{-1} dengan kapasitas serapan maksimum 40,322; 22,423 dan 29,851 mg/g dan konsentrasi 200 mgL^{-1} , 250 mgL^{-1} dan 200 mgL^{-1} dengan kapasitas serapan maksimum 24,331; 21,413; 23,262 mg/g pada biosorben SBD-amobil dan non amobil untuk masing-masing ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Peningkatan kapasitas serapan diperoleh 39,66% untuk Pb(II), 4,50% untuk Cd(II) dan 22,07% untuk Zn(II).

Hasil analisis isotherm diperoleh isotherm adsorpsi pada biosorben SBD-teramobilisasi dan non amobilisasi cenderung mengikuti model isotherm Langmuir, Freundlich, Temkin dan D-R untuk ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II).

Dari analisis data Termodinamika menunjukkan bahwa proses biosorpsi terjadi secara spontan untuk semua ion logam, entalpi (ΔH) bernilai negatif, untuk ion Pb(II), sedangkan pada ion Cd(II) dan Zn(II) bernilai positif. Nilai entropi (ΔS) untuk ion Pb(II) dan Cd(II) bernilai negatif, sedangkan pada ion

Zn(II) ΔS bernilai positif pada biosorben SBD-amobilisasi. Nilai ΔG untuk semua ion logam bernilai negatif, entalpi (ΔH) bernilai negatif untuk ion Pb(II) dan Zn(II) sedangkan pada Cd(II) entalpi (ΔH) bernilai positif, sedangkan entropi (ΔS) bernilai positif untuk semua ion logam pada biosorben SBD-non amobilisasi.

Pada analisis multikomponen pada biosorben SBD-amobilisasi untuk ion Pb(II) dengan adanya ion Cd(II) dan Zn(II) terjadi peningkatan kapasitas penyerapan sedangkan untuk ion Cd(II) dengan adanya ion Pb(II) dan Zn(II) dan ion Zn(II) dengan adanya ion Pb(II) dan Cd(II) dalam larutan menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas penyerapan.

Karakterisasi FTIR biosorben SBD-amobilisasi dan non amobilisasi memperlihatkan adanya gugus fungsi yang berperan dalam proses penyerapan diantaranya gugus hidroksil, karboksil, karbonil dimana setelah penyerapan ion logam terjadi pergeseran angka gelombang dari beberapa gugus fungsi. Dari analisis SEM-EDX sebelum dan setelah penyerapan diketahui unsur-unsur yang terdapat dalam biosorben atau terikat dalam biosorben. Dari data XRF juga dapat ditentukan komponen yang terdapat dalam biosorben dalam bentuk unsur atau oksida logamnya. Sebelum penyerapan tidak ditemukan ion logam yang diserap sedangkan setelah penyerapan ditemukan ion logam yang diserap.

5.2. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya disarankan :

1. Melakukan regenerasi dan reuse untuk pemakaian secara berulang-ulang kali sehingga bisa di aplikasikan untuk penyerapan ion logam dalam sampel nyata.
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan cara dinamis (kolom) dengan mempelajari laju alir, diameter kolom serta mempelajari bentuk kurva *breakh trough* sehingga nanti bisa di uji cobakan untuk penyerapan ion logam dalam jumlah skala yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S.H., I.M. Ismail., T.M. Mostafa., A.H. Sulaymon. 2014. Biosorption Of Heavy Metals : A Review. *J. Of Chemical Science and Technology*. Vol 3 Issue.4 : 74-102.
- Abdolali, A., W.S. Guo., H.H. Ngo., S.S. Chen., N.C. Nguyen., K.L. Tung. 2014. Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment : A Critical review. *Bioresour Techno*. 160 :57-66.
- Abidin, M.A.Z., A.A. Jalil., S. Triwahyono., S.H. Adamand N.H.N. Kamarudin. 2011. Recovery of Gold (III) From an Aqueous Solution Onto a *Duriozibethinus*. *Biochemical Engineering J*. 54 : 124-131.
- Adediran, G.O., A.C. Tella., H.A. Mohammed. 2007. Adsorption of Pb, Cd, Zn and Hg ions on Formaldehyde and Pyridine Modified Bean Husk., *J.Appl.Sci.Environ.Manage*. Vol 11 (2) : 153-158.
- Adeel, H.M., B. Parveen., N. Rasool., M.R.K.GAli., Y. Gull., M. Noree and M. Asghar. 2013. Biosorption of Copper (II) From Aqueous Solution by *Ocimum bacillum* Seed biomass. *J. Chem and Biochem Sci*. IJCBS.4 : 38-45.
- Adhiya, J., X. Cai., R.T. Sayre., S.J. Traira. 2002. Binding of aqueous Cadmium by the lyophilized biomass of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Colloids Surf*. 210 : 1-11.
- Ahmad, M.A., N. Ahmad dan O.S. Bello. 2015. Modified durian seed as adsorbent for the removal metil red dye from aquaeous solution. *Appl water sci*. 5 : 407-423.
- Ahmad, M.A., N. Ahmad dan O.S. Bello. 2014. Adsorptive removal of malachite green dye using durian seed-based activated carbon. *Water, air and soil pollution*. 225 : 2057.
- Ahalya, N., T.V. Ramachandra., R.D. Kanamadi. 2003. Biosorption of heavy metal. *Res. J.Chem.environ*. 7(4) :
- Akar, S.T., S. Arslan, T.Alp, D. Arslan, T. Akar. 2012. Biosorption potential of the water biomaterial obtained from *Cucumismelo* for the removal of Pb²⁺ ions from aqueous media: Equilibrium, kinetic, thermodynamic and mechanism analysis. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 185-186 : 82-90.
- Aksu, Z., G. E. Retli and T. Kutsal. 1998.1A comparative study of copper(II) biosorption on Ca-alginate, agarose and immobilized *C. vulgaris* in a packed-bed column. *Process Biochemistry*. Vol. 33. No 4 : 393-400.

- Amuda, O.S., AmooI.A . 2006. Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatmen. *J. Hazard. Mater.* 747 : 778-783.
- Amuda, O.S., Amoo. I.A., Ajayi, O.O. 2006. Performance optimization of coagulation/ flocculation process in the treatment of beverage industrial wastewater. *J. Hazard.Maters.* 129 (1-3) : 69-72.
- Anayurt R.A., A. Sari., M.Tuzen. 2009. Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Lactariusscrobiculatus*) biomass., *Chemical Engineering Journal*, Vol. 151 : 255-261.
- Annadurai, G., R.S. Juang., D.L. Lee. 2002. Adsorption of heavy metal from water using banana and orange peel. *Water Sci. Technol.* 47: 185-190.
- Apinthanapong, M and M. Phensaijai. 2009. Biosorption of Copper by Spent Yeast Immobilized in Sodium alginate Beads. *Kasetsart J. Nat Sci.*43 : 326-332.
- Awwad, A.M and N. M. Salem. 2012. Biosorption of Cu(II) and Pb (II) ions From solutions by modified Loquat (*Eriobotrya Japonica*) Leave (MLL). *J.Of Chem. Eng and Mat Sci.* Vol 3 (1) : 7-17.
- Ayhan.S., Engil A., M. Ozakar. 2009. Competitive biosorption of Pb^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} ion from aqueous solution onto Valonia tannin resin. *J. Hazardous Mater.* 166. 1488-1494.
- Bailey, S.E., Olin, T.J., Bricka, M., Adrian D.D., 1999. A Review of Potential low cost adsorbents for heavy metals. *Water Resource.* 33 : 2469-2479.
- Banerjee, K., S.T. Ramesh., R. Gandhimati., P.V. Nidheesh., K.S. Barathi. 2012. A.Novelagriculture waste adsorbent, water melon shell for the removal of copper from aqueous solution. *Iranica Journal of energy and environment.* 3 (2).143-156.
- Bayramoglu, G and M.Y. Arica. 2009. Construction a hybrid biosorben using *Scenedesmusquadricauda* and Ca-alginate for biosorption of Cu(II), Zn(II) and Ni(II) : Kinetics and equilibrium studies. *Bioresour Technol.* 100 :186-193.
- Bayramoglu, G., Bektas, S., Arica, M.Y., 2003. Biosorption of heavy metal ion on immobilized white-rot fungus *Trametesversicolor*. *J. Hazardous Materials.* 101: 285-300.
- Bayramoglu, G., I. Tuzun., G. Celik., M. Yilmaz and M.Y. Arica. 2006. Biosorption or mercury(II), cadmium(II) and lead(II) ions from aqueous

solution system by microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* immobilized in alginate beads, *Int.J. Miner.Process.* 81. 35-43.

Baysal, Z., E. Cinar., Y. Bulut., H. Alkan and M. Dogru. 2009. Equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of Pb(II) onto *Candida albican* biomass. *J. Hazardous Materials.* 161 : 62-67.

Blazquez, G., M.A. Martin-Lara., G. Tenorio and M. Calero. 2011. Batch biosorption of lead(II) from aqueous solution by olive tree pruning waste : Equilibrium, kinetic and thermodynamic study. *Chemical Engineering Journal.* 168 : 170-177.

Boschi, C., H. Maldonado., M. Ly and E. Guibal. 2011. Cd(II) biosorption using *Lessonia kelps*. *J. Of Colloid and Interface Science.* 357 : 487-496.

Chaidir, Z., D.T. Sagita., R. Zein and E. Munaf. 2015. Bioremoval of metyl orange using durian fruit (*Durio zibethinus*) Murr seed as biosorbent. *JOCPR.* 7(1) : 589-599.

Chaidir, Z., Putri N.S., R. Zein and E. Munaf. 2015. Calcium alginate immobilized sugar palm fruit (*Arengapinnata Merr*) shell for the removal of Pb(II) and Cd(II) ions. *JOCPR.* 7(5) : 965-972.

Chakravarty, P., N.S. Sarma., H.P. Sarma. 2010. Biosorption od Cadmium(II) from aqueous solution using heartwood powder of *Areca catechu*. *Chemical Engineering Journal.* 162. 949-955.

Chien, S.H., and W.R. Clayton. 1980. Application of Elovich equation to the kinetics of phosphate release and sorption on solid. *Soil Sci Am J.* 4 : 205-208.

Dang, V.B.H., H.D. Doan., T. Dang-Vu., A.Lohi. 2009. Equilibrium and kinetics of biosorption of Cadmium(II) and Copper(II) ions by wheat straw. *Bioresource Technology.* 100 : 211-219.

Das, N., R.Vimalaand P. Karthika. 2008. Biosorption of Heavy Metals-An Overview. *Indian journal Of Biotechnology.* Vol 7 : 159-169.

Demirbas, A., 2008. Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials : A review.

Dubin, M.M., Radushkevich, I.V. 1947. Proceeding The Academy Science, Physical Chemistry Section. *USSR* 55 : 331-333.

El-Sayed, G.O., H.A. Dessouki., S.S. Ibrahim. 2010. Biosorption of Ni(II) and Cd(II) Ions From Aqueous Solution Onto Rice Straw. *Chemical Science.J (CSJ)* : 9-15.

- Fan, T., Y. Liu., B. Feng., G. Zeng., C. Yang and M. Zhou. 2008. Biosorption of Cadmium(II), Zinc(II) and Lead(II) by *Penicillium simplicissimum*: Isotherms, kinetics, and thermodynamics. *J. Hazardous Materials*. 160 : 655-661.
- Fomina, M and G.M. Gadd. 2014. Biosorption : Current perspectives on concept, definition and application. *Bioresour Tehcno*. 160: 3-14.
- Franco, M., J. Beltran-Heredia and J.E.S Paterniani. 2013. Use of Alginate-Moringa Oleifera Beads On Cu(II) and Cd(II) Adsorption From Aquatic Systems. *J. of Chemical Engineering and Applications*. Vol 4 No 6 :373-376.
- Gaikwad, R.W. 2014. Moringa Oleifera Seed as Low Cost and Effective Biosorbent for Cu(II) Removal From Acid Mine Drainage. *J. of Informative & Futuristic Research*. Vol 2 : 493-501.
- Garcia-Rosales, G and A. Colin-Cruz. 2010. Biosorption of lead by maize (*Zea mays*) stalk sponge, *J. Environmental Management*. 91 : 2079-2086.
- Gomez-Gonzalez, R., J. Felipe, Cerino-Cordova, M. Azucena, Garcia-Leon, E. Soto-Regalado, E. Nancy, Davila-Guzman, J. Jacob and Salazar-Rabago. 2016. Lead Biosorption onto coffee grounds: Comparative analysis of several optimization techniques using equilibrium adsorption model and ANN. *J. The Taiwan Institute of Chemical Engineers*. Article in Press. 1-10.
- Hamzah, U., R. Zein., E. Munaf. 2013. Kulit jengkol (*Phitechellobium jiringa* Prain) sebagai biosorben untuk penyerapan ion logam Pb(II) dan Cu(II) dari air limbah. *J. Kimia Unand*. Vol.2 .No 3.
- Hanif, A., H.N. Bhatti and M.A. Hanif. 2009. Removal and recovery of Cu(II) and Zn(II) using immobilized *Mentha arvensis* distillation waste biomass. *Ecological Engineering*. 35 : 1427-1434.
- Ho, Y.S., G. Mc.Kay. 2000. The kinetics sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. *Water Research*. 34(3).735-742.
- Horvathova, H., Kadukova, J., Stovko, M. 2009. Biosorption of Cu^{2+} and Zn^{2+} by immobilized Algae Biomass Of *Chlorella Kessleri*. *Acta Metallurgica*. Vol 15. No 4 : 255-263.
- Horvathova, H., D. Ivanova., J. Kadukova., J. Kavulicova and M. Stovko. 2010. Biosorption of Cu^{2+} and Zn^{2+} by immobilized biosorbents : Study of The Biosorbent Stability and capacity. *Mineralia Slovaca*. Vol 42 : 291-294.
- Hu, H., J. Zhang., K. Lu., Y. Tian. 2015. Characterization of *Acidosia saedulis* shoot shell and its biosorption of copper from aqueous solution. *J. Environm Chem. Engineering*. Vol 3 : 357-364.

- Ilamathi, R., G.S. Nirmala., L. Muruganandam. 2014. Heavy metals Biosorption in liquid solid fluidized bed by immobilized consortia in alginate beads. *J.Chem Tech Research*. Vol 6 : 652-662.
- Indrasti, N.S., M.A. Subroto dan G.G Gunawan. 2010. Adsorpsi Logam Berat Seng (Zn) Menggunakan Akar Rambut Solanumnigrum L Galur A₄ Kering Terimmobilisasi Dalam Na-alginat. *J. Tek. Ind. Pert.* Vol 15(1) : 1-9.
- Isnaini P., R. Zein., E. Munaf. 2013. Penyerapan Ion Cd(II) dan Zn(II) dalam air limbah menggunakan kulit jengkol (*Pithecellobium jiringa Prain*). *J. Kimia Unand*. Vol 2No 3 : 20-31.
- Ismail, A., H. Sudrajat and D. Jumbiati. 2010. Activated carbon from durian seed by H₃PO₄ Activation : Preparation and pore structure characterization. *Indo.J.Chem.* 10(1) : 36-40.
- Ivanova, D., H. Horvathova., J. Kadukovaand J.Kavulicova. 2010. Stability of Immobilized Biosorbent and Its Effluence on Biosorption of Copper. *Nova Biotechnologica* :1-10.
- Jafari N., Z. Senobari. 2012. Removal of Pb(II) ion from aqueous solution by *Cladophorarivularis (Linnaeus) hoek*. *Scientific World J*.Vol. 2012: 01-06.
- Jaishankar, M., B.B. Mathew., M.S. Shah., T.P.K. Murty and K.R.G Gowda. 2014. Biosorption of Few Heavy Metal Ion Using Agricultural Waste., *J.Of. Environment Pollution and Human Health*. Vol 2. No 1 :1-6.
- Jonglertjunya, W. 2008. Biosorption of Lead (II) and Copper (II) From Aqueous Solution. *Chiang Mai J. Sci*: 35 (1) : 69-8.
- Juang. R.S and Shiau R.C. 2000. Metal removal from aqueous solutions using chitosan-enhanced membrane filtration., *J. Membrane .Sci*. 765 : 159-167.
- Jun, T.Y., S.D. Arumugam., N.H.A. Latip., A.M. Abdullah., P.A. Latif. 2010. Effect of activation Temperature and Heating Duration of Physical Characteristic of activated carbon prepared from agricultural waste. *Environment Asia*.Vol 3 : 143-148.
- Kurniawan, M.I., Z. Abdullah., A. Rahmadani., R. Zein., E. Munaf. 2014. Isotherm and Kinetic modeling of Pb(II) and Cu(II) Uptake by *Annonamuricata L* seed. *Asian Journal.Chem.* 26 (12) : 3588-3594.
- Liu Y., Y.J. Liu. 2008. Biosorption isotherm, kinetics and thermodynamic. Separation and Purification Technology. Vol.61 : 229-242.
- Mahamadi, C and P. Zambara. 2012. Adsorption of Cu(II) From Aquatic System Using alginate-Immobilized Water Hyacinth Beads. *European Journal of Scientific Research*.Vol 71. No 4 :581-589.

- Mata, Y.N., M.L. Blazquez., A. Ballester., F. Gonzalez and J.A Munoz. 2009. Sugar-Beet Pulp Pectin gels as Biosorbent for heavy metal: Preparation and Determination of Biosorption and Desorption Characteristic. *Chemical Engineering Journal*. 150 : 289-301.
- Mata, Y.N., M.L. Blazquez., A. Ballester., F.Gonzalez and J.A.Munoz. 2009. Biosorption of cadmium, lead and copper with calcium alginate xerogels and immobilized *Fucusvesiculosus*. *J. of Hazardous Materials*. 163 : 555-562
- Maxim, K., K. Valeri and K. Yuri.2008. Comparative equilibrium studies of sorption of Pb(II) ions by sodium and calcium alginate. *J of Environment Science*.20 : 827-831.
- Mc. Hugh, D.J. 2003. A guide to the seaweed industry. Food Agriculture organization of the united nations.
- Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering. Treatmen and Reuse, Four Edition. Mc.Graw Hill Companies.
- Mirhosseini, H., C.P.Tan, M. Naghshineh. 2010. *J. Food Agric. Environ*. 8. 134–139
- Misra, S.P. 2013. Adsorption of Cu and Zn on Calcium alginate immobilized *Penicillium* sp. *Indian Journal Of Chemical Technology*. Vol 20 : 21-25.
- Mohapatra, M., L. Mohapatra., P. Singh., S. Anand dan B.K. Mishra. 2010. A Comparative study of Pb(II), Cd(II), Cu(II), Co(II) adsorption from single and binary aqueous solution on additive assisted nano-structured goethite. *International J. Engineering Science and Technology*. Vol 2. No 8. 89-103.
- Munagapati, V.S., V. Yarramuthi., S. K. Nadavala. 2010. Biosorption of Cu(II), Cd(II) and Pb(II) by *Acacia leucocephala* bark powder : Kinetics, equilibrium and thermodynamics.*Chemical Engineering Journal*.157 : 357-365.
- Nawas, H., Bhatti., R. Khadim and M.A. Hanif. 2011. Biosorption of Pb(II) and Co(II) On Red Rose Waste Biomass. *Iran. J.Chemical.Chemistry. Eng*.Vol 30 : No 4.
- Navarro A.E., H. Musaev., K. Serrano and M.E. Masud. 2014. Adsorption Kinetics Of cobal (II) Ions Onto Alginate Beads From Aqueous Solution. *Journal Earth Sci Clim Change*.Vol. 5 : 8.
- Okolo, P.O., E.E.I. Irabor and T.P. Abugu. 2012. *Artocarpusaltis* proving its worth in toxic metal removal from the environment . Bayero. J. Pure and Applied Science. Vol 5(2) : 104-109.

- Ong, S.T., S.P.Yip., P.S., S.L. Lee and Y.T Hung. 2012. Papaya (*Carica Papaya*) Seed as a low-cost sorbent for zinc removal, *African Journal of agricultural Research*. Vol. 7(5) : 810-819
- Osman, H.E., R.K. Badwyand H.F. Ahmad. 2010. Usage of Agricultural By products in The Removal of Some Heavy metal from Industrial wastewater. *Journal of Phytology*. 2(3) : 51-62.
- Ozcan, A.S., S. Tunali, T. Akar, A.Ozkan. 2009. Biosorption of lead(II) ions onto waste biomass of phaseolus vulgaris L: Estimation of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters. *Desalination*. 244 : 188-198.
- Papageorgiou, S.K., F.K. Karsaros., E.P. Kouvelos., J.W. Nolan., H.L. Deit and N.K. Kanellopoulos. 2010. Heavy Metal sorption by Calcium Alginate bead From *Laminaria Digitata*.
- Patrulea, V., A. Neglurescu., M.M. Mincea., L.D.Pituleci., O.B.Spiridon and Vasile Ostave. 2013. Optimatization of the removal of copper (II) from aqueous solution on chitosan and cross linked chitosan beads. *Bioresources*. 8(1) : 1147-1165.
- Pereira, F.V., L.V.A. Gurgel., L.F. Gil. 2010. Removal of Zn^{2+} From Aqueous single metal solution and electroplating wastewater with sawdust and sugarcane bagasse modified with EDTAD. *J. Hazardous Materials*. 176 : 856-863.
- Pistone S., Qoraqlu D., Smistad Ga and Hiorth. 2013. Formulation and Preparation of Stable Cross-linked alginate-zinc nano particle in the presence of monovalent salt. *The Royal Societi of Chemistry*.
- Predescu, A and A, Nicolae. 2012. Adsorption of Zn, Cu and Cd from wastewaters by means of maghemite nanoparticles. *U.P.B.Sci. Bull. Series B*. Vol 74. Issue 1. 255-264.
- Putri R. 2015. Amobilisasi kulit buah jengkol (*Pithecellobium jiringa*) sebagai bahan penyerap ion logam Cd(II) dan Zn(II) dalam air limbah. Tesis. Pascasarjana Unand.
- Rahmadani A., E. Munaf., R. Zein. 2013. Penyerapan Ion Logam Cd(II) dan Zn(II) Dari larutan menggunakan biji buah sirsak (*Anonnamuricata L*). *J. Kimia Unand*. Vol 2 No 4. 9-18.
- Raju, D.S.S.R., V.N. Rao., P.R. Prased and N.C. Babu. 2012. Sorption od Lead(II) Ion From Wastewater Using *Carica Papaya* Leaf Powder. *IJESAT*. Vol 2 : 1577-1581.

- Reddy, D.H.K., M.L. Lee and K.Seshaiah. 2012. Removal of Cd(II) and Cu(II) from Aqueous Soltion by Agro Biomass: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Environ. Eng. Res.* 17 (3) : 125-132.
- Reddy, D.H.K., K. Seshaiah, A.V.R. Reddy, M.M. Rao and M.C. Wang.2010. Biosorption of Pb^{2+} from aqueous solution by *Moringaoleifera* bark: Equilibrium and kinetic studies. *J. Hazardous Materials.* 174 : 831-838.
- Rezende, R.A., P.J. Bartolo., A. Mendes., R.M. Filho. 2003. Experimental characterization of the alginate gelation process the rapid prototyping. *Procedingof Advanced research*
- Rukmana, R. 2001. Durian.Budidaya dan Pasca Panen. Karnisius.Yogyakarta.
- Saikaew, W and P. Kaewsam. 2009. Durian Peel AsBiosorbent for Removal Of Cadmium Ions from Aqueous Solution. *J.Environ.Res.* 32 (1) : 17-30.
- Sari, A dan M.Tuzen. 2009. Kinetic and equilibrium studies of biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Amanita rubescens*) biomass. *J of Hazard Materials.*164 : 1004-1011.
- Saueprasearsit, P. 2011. Adsorption Cr(VI) using durian peel. IPCBEE. Vol 18. 33-38.
- Schiewer,S dan A. Balaria. 2009. Biosorption of Pb^{2+} by original and protonated citrus peel : Equilibrium, kinetic and mechanism. *Chemical Engineering Journal.*146 : 211-219.
- Senusi F and K.A. Karim. 2011. Biosorption of Pb(II) Ions Using Rubber Seed Coat: Equilibrium and Kinetic Studies. IEEE Colloquium on Humanities. *Science and Engineering Research.*
- Shim, J., J.M. Lim., P.J. Shea., Byung-Taek. 2014. Simultaneous removal of phenol, Cu and Cd from water with corn cob. *J of Hazardous Materials.* 271 : 129-136.
- Suryan S., S.S. Ahluwalia. 2012. Biosorption of Heavy Metals By Paper Mill Waste From Aqueous Solution. *J. Environmental Sciences.* Vol 2, No 3 : 1331-1339.
- Tabaraki, R., A. Nateghi., S.Ahmady-Asbchin. 2014. Biosorption of lead(II) ions on *Sargassumilicifolium*: Application of response surface methodology, *International Biodetermination and Biodegradation.* 93 :145-152.
- Tijani, J.O., M.M. Ndamitso., I.B. Aliyu and O.S. Olakunle. 2013. Equilibrium and Isoterm studies of the Biosorption of Potentially toxic elements from aqueous solution by BlighiaSapida (Akee Apple) Seeds. *J. Advancements in Research & Technology.* Vol 2.

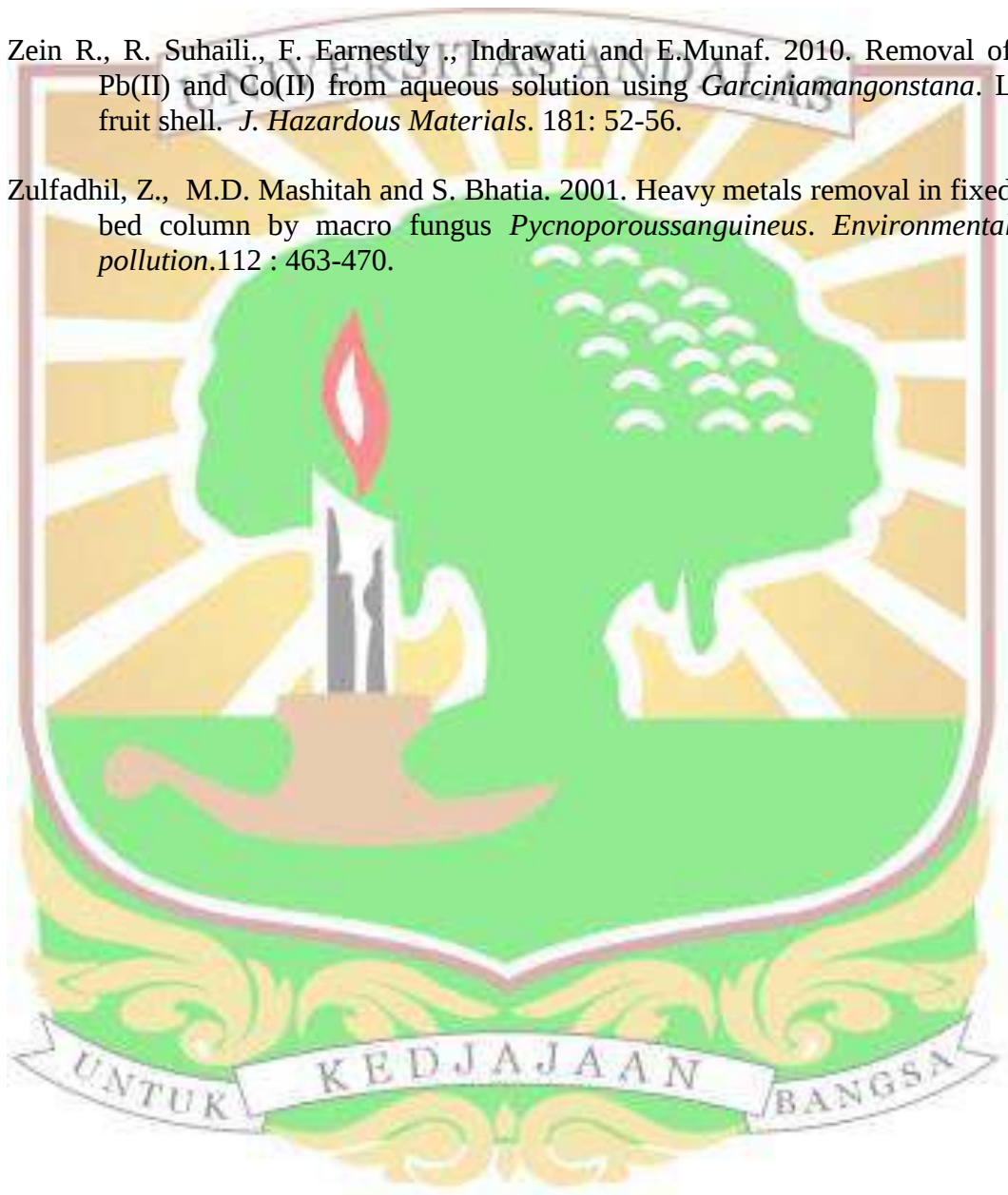
- Torres, E., Y.N. Mata., M.L. Blazquez., J.A. Munoz., F. Gonzalez and A. Ballester. 2005. Gold and Silver Uptake and nanoprecipitation on Calcium Alginate Beads. *Langmuir*. 21. 7951-7958.
- Tsekova, K., D. Todorova., V. Dencheva and S. Ganeva. 2010. Biosorption of Copper (II) and Cadmium (II) from aqueous solutions by free and immobilized biomass of *Aspergillus niger*. *Bioresour Techno*. 101 : 1727-1731.
- Veglio, F. dan F. Beolchini. 2007. Removal of by biosorption : Review. *Hydrometallurgy*. 44. 301-316.
- Verma, A., A. Singh., N.R. Bishnoi and A. Gupta. 2013. Biosorption of Cu(II) using free and immobilized biomass of *Penicillium citrinum*. *Ecological Engineer*. 61. 486-490.
- Vinodhini, V. and Das. 2009. Mechanism of Cr(VI) Biosorption by neem sawdust. *American-Eurasian J. Scientific Research*. 4 (4) : 324-329.
- Volesky, B. 2007. Biosorption and me. *Water Res*. 41 : 4017-4029.
- Wang, J.Y., H. Cui., C.W. Cui and D.F. Xing. 2016. Biosorption of Copper(II) from aqueous solution by *Aspergillus niger*-treated rice straw, *Ecological Engineering*. 95 : 793-799.
- Witek, K., Anna., K. Harikishore., D. Reddy. 2013. Removal of micro elemental Cr(III) and Cu(II) by using soybean meal waste-usual isotherm and insight of binding mechanism. *Bioresource Technology*. 127 : 350-357.
- Wuyep, P.A., A.G. Chuma., S. Awodi and A.J. Nok. 2007. Biosorption of Cr, Mn, Fe, Ni, Cu and Pb metals from petroleum refinery effluent by calcium alginate immobilized mycelia of *Polyporus squamosus*. *Scientific Research and assay*. Vol 2(7) : 217-221.
- Xiao-Jing, H., G. Hai-Dong., Z. Ting-Ting., J. Yu., Q. Juan-Juan. 2014. Biosorption mechanism of Cu^{2+} by innovative immobilized spent substrate of fragrant mushroom biomass. *Ecological Engineering*. 73 : 509-513.
- Xu, L., Z. Zhuang. 2014. Removal of Cadmium ion from aqueous solution using chemically modified peanut shell. *JOCPR*. 6(6) : 649-653.
- Yahya, Y.A., M.M. Don., S. Bhatia. 2009. Biosorption of Copper(II) onto immobilized cells of *Pycnoporus sanguineus* from aqueous solution : Equilibrium and kinetic studies. *J. Hazardous Mater*. 161 : 189-195.

Yahya, M.D., I.A.M. Dabo., A.S. Ahmed and A.S. Olawale. 2013. Copper(II) Adsorption by Calcium Alginate Shea Butter Cake. *Civil and Environmental Research*. Vol 3. No 4 : 20-39.

Yao, Z.Y., J.H. Qib., L.H. Wang. 2010. Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies on the biosorption Cu(II) onto chestnut shell. *J. Hazard. Mater.* 174. 137-143.

Zein R., R. Suhaili., F. Earnestly., Indrawati and E. Munaf. 2010. Removal of Pb(II) and Co(II) from aqueous solution using *Garcinia mangostana* L fruit shell. *J. Hazardous Materials*. 181: 52-56.

Zulfadhil, Z., M.D. Mashitah and S. Bhatia. 2001. Heavy metals removal in fixed bed column by macro fungus *Pycnoporus sanguineus*. *Environmental pollution*. 112 : 463-470.



CURRICULUM VITAE

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Intan Lestari S.Si,M.Si	P
2.	Jabatan Fungsional	Lektor [3D]	
3.	Jabatan Struktural	-	
4.	NIP/NIK/Identitas Lain	19740922 199903 2 002	
5.	NIDN	0022097406	
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Padang, 22 September 1974	
7.	Alamat Rumah	Kompleks Permata Regensi Blok E No 15 RT 58 Kel. Kenali Besar Kec. Kota Baru Jambi	
8.	Nomor Telepon/ Faks	085266396534	
9.	Alamat Kantor	Alamat : Kampus Pinang Masak, Jalan Raya Jambi-Ma.Bulian KM15 Mendalo, JAMBI 36361	
10.	No Telepon /Faks	Telp 0741-583453 Fax 0741-583453	
11.	Alamat e-mail	ilestari_15@yahoo.co.id	
12.	Ayah	Mulyono Syarief (Alm)	
13.	Ibu	Maizarlis	
14.	Suami	Ahya Ul Asrar, SH	
15.	Anak	1. Alfadilah Yudistisia 2. M.Fakhri Al Muttaqi	

B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	UNAND	UNAND	UNAND
Bidang Ilmu	Kimia	Kimia	Kimia
Tahun Masuk-Lulus	1992-1997	1997-1999	2014

C. Publikasi Artikel Ilmiah Internasional

No	Judul Artikel Ilmiah	Vol/No/Th	Nama Jurnal
1.	Equilibrium and kinetic modeling biosorption of Zn(II) in aqueous solution using durian (<i>durio zibethinus</i>) seed as low cost bio sorbent	7(9S). 2015	JOCPR
2.	Effect of pH on the biosorption of heavy metal by alginate immobilization durian (<i>durio zibethinus</i>) seed	8 (5). 2016	Der Pharma Chemica

D. Kegiatan Pada Pertemuan Seminar Ilmiah

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	Seminar Nasional BKS-PTN MIPA	Biosorpsi ion logam Pb(II) dalam larutan menggunakan biji durian (<i>Durio zibethinus</i>)	Mei 2015 FMIPA Univ. Pontianak Kalimantan Barat
2.	Seminar International ICCS	Equilibrium and Kinetic Modeling of the Biosorption of Zn(II) from Aqueous Solution Using Powdered Durian (<i>durio zibethinus</i>) seed.	September 2015 Jurusan Kimia FMIPA UNAND Padang
3.	Seminar Nasional BKS-PTN MIPA	Kinetika dan isotherm adsorpsi ion Logam Pb(II) Menggunakan Biosorben Biji durian (<i>durio zibethinus</i>) teramobilisasi Ca-alginat.	Mei 2016, FMIPA Univ. Sriwijaya. Palembang.



Lampiran 1. Pengaruh pH pada penyerapan Pb(II) dengan Biosorben Non Amobilisasi dan Amobilisasi Ca-alginat.

Biosorben	pH	Massa	Co (mg/L)	Ce	Qe	%R
Non Amobil	2	0,1	10	6,311	0,737	36,890
	3	0,1	10	2,755	1,449	72,450
	4	0,1	10	0,487	1,903	95,130
	5	0,1	10	0,501	1,900	95,000
	6	0,1	10	0,980	1,804	90,200
	7	0,1	10	6,301	1,730	36,990
Amobil (Dry bead)	2	0,1	10	4,437	1,113	55,630
	3	0,1	10	2,755	1,449	72,450
	4	0,1	10	0,487	1,903	95,130
	5	0,1	10	0,502	1,901	95,000
	6	0,1	10	6,301	0,739	36,990
	7	0,1	10	6,801	0,640	32,000

Lampiran 2 : Pengaruh pH pada penyerapan Cd(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.

Biosorben	pH	Massa	Co (mg/L)	Ce	Qe	%R
Non Amobil	2	0,1	10	9,355	0,129	6,450
	3	0,1	10	9,245	0,151	7,550
	4	0,1	10	2,402	1,521	76,000
	5	0,1	10	1,595	1,681	84,050
	6	0,1	10	2,031	1,594	79,700
	7	0,1	10	3,125	1,375	68,750
Amobil (Dry bead)	2	0,1	10	7,940	0,412	20,600
	3	0,1	10	1,800	1,640	82,000
	4	0,1	10	0,567	1,887	94,303
	5	0,1	10	0,351	1,930	96,500
	6	0,1	10	0,424	1,915	95,760
	7	0,1	10	0,450	1,911	95,500

Lampiran 3. Pengaruh pH pada penyerapan Zn(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.

Biosorben	pH	Massa	Co (mg/L)	Ce	Qe	%R
Non Amobil	2	0,1	10	8,072	0,386	19,300
	3	0,1	10	6,095	0,781	39,051
	4	0,1	10	0,801	1,840	92,000
	5	0,1	10	1,185	1,763	88,151
	6	0,1	10	0,805	1,839	91,950
	7	0,1	10	1,475	1,705	85,250
Amobil (Dry bead)	2	0,1	10	7,975	0,445	21,810
	3	0,1	10	5,295	0,981	48,081
	4	0,1	10	0,275	1,985	97,300
	5	0,1	10	0,121	2,016	98,821
	6	0,1	10	0,255	1,989	97,500
	7	0,1	10	1,275	1,785	87,500

Lampiran 4. Pengaruh waktu kontak pada penyerapan Pb (II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.

Biosorben	Waktu (menit)	Massa	Co (mg/L)	Ce	Qe	%R
Non Amobil	5	0,1	10	5,375	0,925	46,250
	15	0,1	10	3,035	1,393	69,651
	30	0,1	10	2,835	1,433	71,650
	45	0,1	10	2,630	1,474	73,700
	60	0,1	10	2,470	1,506	75,300
	75	0,1	10	2,061	1,588	79,400
	90	0,1	10	2,275	1,545	77,250
	120	0,1	10	3,110	1,378	68,900
Amobil (Dry bead)	5	0,1	10	8,851	0,232	11,500
	15	0,1	10	5,452	0,911	45,500
	30	0,1	10	2,022	1,596	79,780
	45	0,1	10	1,678	1,664	83,220
	60	0,1	10	1,986	1,603	80,140
	75	0,1	10	1,384	1,723	86,160
	90	0,1	10	0,612	1,878	93,900
	120	0,1	10	0,735	1,853	92,650
	150	0,1	10	0,871	1,826	91,290

Lampiran 5. Pengaruh waktu kontak pada penyerapan Cd(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.

Biosorben	Waktu (menit)	Massa	Co (mg/L)	Ce	Qe	%R
Non Amobil	5	0,1	10	2,835	1,433	71,650
	15	0,1	10	2,370	1,526	76,300
	30	0,1	10	1,360	1,728	86,400
	45	0,1	10	1,101	1,780	89,000
	60	0,1	10	1,702	1,626	81,300
	75	0,1	10	2,075	1,585	79,250
	90	0,1	10	2,695	1,461	73,050
	120	0,1	10	2,951	1,410	70,500
Amobilisasi	5	0,1	10	1,139	1,772	88,610
	15	0,1	10	0,824	1,835	91,760
	30	0,1	10	0,617	1,876	93,830
	45	0,1	10	0,446	1,911	95,540
	60	0,1	10	0,461	1,907	95,390
	75	0,1	10	0,468	1,906	95,320
	90	0,1	10	0,472	1,906	95,280
	120	0,1	10	0,485	1,903	95,150



Lampiran 6. Pengaruh waktu kontak pada penyerapan Zn(II) dengan Biosorben SBD-Non Amobil dan SBD-amobilisasi.

Biosorben	Waktu (menit)	Massa	Co (mgL ⁻¹)	Ce	Qe	%R
Non Amobil	5	0,1	10	2,500	1,500	75,000
	15	0,1	10	2,380	1,524	76,200
	30	0,1	10	2,275	1,545	77,250
	45	0,1	10	2,067	1,587	79,325
	60	0,1	10	1,967	1,607	80,330
	75	0,1	10	1,896	1,621	80,040
	90	0,1	10	1,946	1,611	80,545
	120	0,1	10	2,170	1,566	78,300
				2,250	1,550	77,500
Amobil (Dry bead)	5	0,1	10	1,183	1,763	88,166
	15	0,1	10	1,104	1,779	88,966
	30	0,1	10	0,999	1,800	90,009
	45	0,1	10	0,701	1,846	92,299
	60	0,1	10	0,768	1,846	92,312
	75	0,1	10	0,733	1,854	92,675
	90	0,1	10	0,649	1,870	93,506
	120	0,1	10	0,625	1,875	93,750
				0,782	1,844	92,180

Lampiran 7. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Pb(II) dengan biosorben SBD-non amobil.

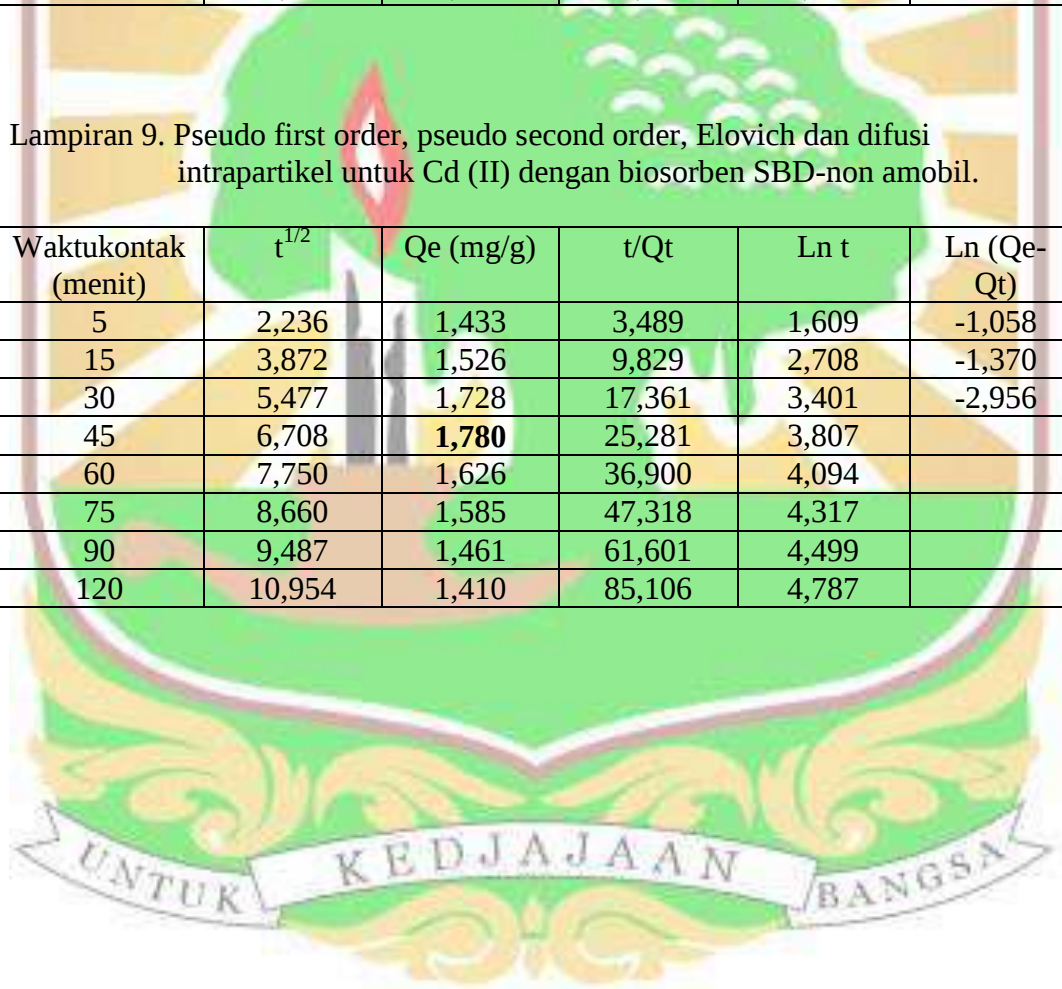
Waktukontak (menit)	t ^{1/2}	Q (mg/g)	t/Qt	Ln t	Ln (Qe-Qt)
5	2,236	0,925	5,405	1,609	-0,411
15	3,872	1,393	10,768	2,708	-1,535
30	5,477	1,433	20,935	3,401	-1,864
45	6,708	1,474	30,529	3,807	-2,172
60	7,750	1,506	39,841	4,094	-2,501
75	8,660	1,588	47,229	4,317	
90	9,487	1,545	58,252	4,499	
120	10,954	1,378	87,083	4,787	

Lampiran 8. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Pb(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi.

Waktukontak (menit)	$t^{1/2}$	Qe (mg/g)	t/Qt	Ln t	Ln (Qe-Qt)
5	2,236	0,230	21,739	1,609	0,562
15	3,872	0,510	29,412	2,708	0,388
30	5,477	0,996	30,132	3,401	-0,012
45	6,708	1,064	42,277	3,806	-0,083
60	7,750	1,203	49,884	4,094	-0,247
75	8,660	1,523	49,238	4,317	-0,775
90	9,487	1,878	47,923	4,499	-2,244
120	10,954	1,984	60,484	4,787	
150	12,247	1,857	80,775	5,010	

Lampiran 9. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Cd (II) dengan biosorben SBD-non amobil.

Waktukontak (menit)	$t^{1/2}$	Qe (mg/g)	t/Qt	Ln t	Ln (Qe-Qt)
5	2,236	1,433	3,489	1,609	-1,058
15	3,872	1,526	9,829	2,708	-1,370
30	5,477	1,728	17,361	3,401	-2,956
45	6,708	1,780	25,281	3,807	
60	7,750	1,626	36,900	4,094	
75	8,660	1,585	47,318	4,317	
90	9,487	1,461	61,601	4,499	
120	10,954	1,410	85,106	4,787	

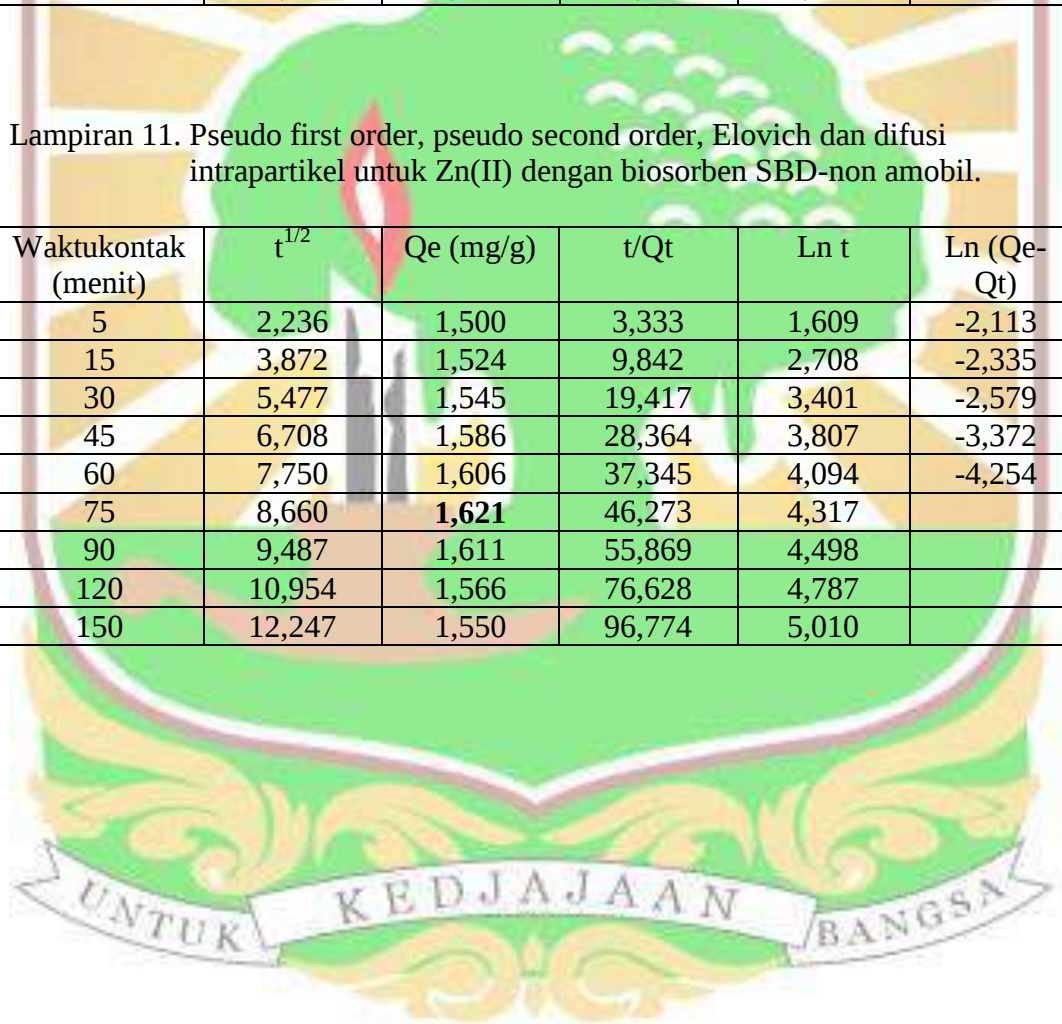


Lampiran 10. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Cd (II) dengan biosorben SBD-amobilisasi.

Waktukontak (menit)	$t^{1/2}$	Q_e (mg/g)	t/Q_t	$\ln t$	$\ln (Q_e - Q_t)$
5	2,236	1,772	2,821	1,609	-1,976
15	3,872	1,835	8,173	2,708	-2,582
30	5,477	1,877	15,986	3,401	-3,375
45	6,708	1,911	23,550	3,807	
60	7,750	1,908	31,449	4,094	
75	8,660	1,906	39,341	4,317	
90	9,487	1,905	47,229	4,499	
120	10,954	1,903	63,058	4,787	

Lampiran 11. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Zn(II) dengan biosorben SBD-non amobil.

Waktukontak (menit)	$t^{1/2}$	Q_e (mg/g)	t/Q_t	$\ln t$	$\ln (Q_e - Q_t)$
5	2,236	1,500	3,333	1,609	-2,113
15	3,872	1,524	9,842	2,708	-2,335
30	5,477	1,545	19,417	3,401	-2,579
45	6,708	1,586	28,364	3,807	-3,372
60	7,750	1,606	37,345	4,094	-4,254
75	8,660	1,621	46,273	4,317	
90	9,487	1,611	55,869	4,498	
120	10,954	1,566	76,628	4,787	
150	12,247	1,550	96,774	5,010	



Lampiran 12. Pseudo first order, pseudo second order, Elovich dan difusi intrapartikel untuk Zn(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi.

Waktukontak (menit)	$t^{1/2}$	Qe (mg/g)	t/Qt	Ln t	Ln (Qe-Qt)
5	2,236	1,763	2,835	1,609	-2,192
15	3,872	1,779	8,430	2,708	-2,346
30	5,477	1,800	16,66	3,401	-2,592
45	6,708	1,845	24,377	3,807	-3,539
60	7,750	1,846	32,498	4,094	-3,548
75	8,660	1,853	40,463	4,317	-3,839
90	9,487	1,870	48,125	4,499	-5,322
120	10,954	1,875	64,000	4,787	
150	12,247	1,843	81,363	5,010	

Lampiran 13. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Pb(II) dengan biosorben SBD-non amobil pada suhu berbeda.

Konsentra si (mgL ⁻¹)	SBD non-amobil (27°C)		SBD non-amobil (35°K)		SBD non-amobil (45°K)	
	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)
10	3,581	1,284	3,120	1,376	2,621	1,475
20	8,375	2,325	7,898	2,420	3,983	3,203
30	11,218	3,756	10,946	3,811	5,743	4,851
40	16,125	4,775	15,974	4,805	6,874	6,625
50	22,453	5,509	21,254	5,749	11,376	7,725
75	28,675	9,265	27,361	9,528	21,653	10,669
100	46,679	10,664	43,276	11,344	30,982	13,804
150	76,354	14,729	74,376	15,125	45,647	20,870
200	115,875	16,825	110,265	17,947	56,78	28,644
250	167,453	16,509	156,376	18,725	89,365	32,127

Lampiran 14. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Pb(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi pada suhu berbeda,

Konsentrasi (mgL ⁻¹)	SBD amobil (27°C)		SBD amobil (35°K)		SBD amobil (45°K)	
	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)
10	1,289	1,742	1,670	1,666	1,800	1,640
20	1,074	3,785	2,860	3,428	2,946	3,411
30	2,228	5,554	3,564	5,287	3,453	5,309
40	3,801	7,239	4,984	7,003	4,120	7,176
50	3,254	9,349	5,290	8,942	4,987	9,003
75	10,265	12,947	11,563	12,687	23,465	10,307
100	17,950	16,410	21,536	15,692	35,460	12,908
150	19,800	26,040	37,749	22,450	54,645	19,071
200	25,870	34,826	87,200	22,560	84,645	23,071
250	75,564	34,887	-	-	-	-
300	125,654	34,869	-	-	-	-

Lampiran 15. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Cd(II) dengan biosorben SBD non-amobil pada suhu berbeda.

Konsentrasi (mg/L)	SBD non- amobil (27°C)		SBD non-amobil (35°K)		SBD non-amobil (45°K)	
	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
10	4,605	1,079	2,735	1,453	1,503	1,699
20	9,825	2,035	8,987	2,203	5,365	2,927
30	15,13	2,974	14,861	3,027	10,398	3,920
40	19,635	4,073	17,908	4,418	13,476	5,305
50	25,567	4,886	21,090	5,782	20,710	5,858
75	31,383	8,723	29,689	9,062	23,574	10,285
100	50,215	9,957	50,675	9,865	26,750	14,651
150	89,534	12,093	85,476	12,905	42,653	21,469
200	134,45	13,110	130,250	13,951	92,000	21,602
250	175,453	14,909	165,562	16,888	100,265	29,947
300	200,523	14,895	-	-	-	-

Lampiran 16. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Cd(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi pada suhu berbeda.

Konsentrasi (mgL ⁻¹)	SBD amobil (27°C)		SBD amobil (35°K)		SBD amobil (45°K)	
	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)
10	2,365	1,527	2,002	1,599	1,443	1,711
20	5,395	2,921	4,365	3,127	3,875	3,225
30	6,563	4,688	5,476	4,905	4,985	5,003
40	13,941	5,212	11,367	5,727	10,473	5,905
50	16,360	6,728	12,473	7,505	17,560	6,488
75	23,765	10,247	21,367	10,727	20,152	10,969
100	35,350	12,930	31,675	13,665	26,850	14,630
150	67,603	16,480	63,874	17,225	60,253	17,949
200	109,602	18,080	109,200	18,161	105,467	18,906
250	153,650	19,270	145,756	20,849	132,120	23,576
300	206,800	18,640				

Lampiran 17. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Zn(II) dengan biosorben SBD non-amobil pada suhu berbeda.

Konsentrasi (mgL ⁻¹)	SBD non- amobil (27°C)		SBD non-amobil (35°K)		SBD non-amobil (45°K)	
	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)
10	3,010	1,398	3,158	1,368	2,755	1,449
20	6,210	2,758	6,121	2,776	6,145	2,771
30	8,320	4,336	8,087	4,383	8,355	4,329
40	11,425	5,715	10,453	5,909	12,243	5,551
50	17,150	6,570	17,528	6,494	13,265	7,347
75	26,132	9,774	25,324	9,935	28,758	9,248
100	30,215	13,957	29,985	14,003	36,860	12,628
150	67,285	16,543	65,541	16,892	67,465	16,507
200	108,352	18,331	115,654	16,869	112,080	17,584
250	160,655	17,869	-	-	-	-

Lampiran 18. Pengaruh konsentrasi pada penyerapan Larutan Zn(II) dengan biosorben SBD-amobilisasi pada suhu berbeda.

Konsentrasi (mgL ⁻¹)	SBD non- amobil (27°C)		SBD non-amobil (35°K)		SBD non-amobil (45°K)	
	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)
10	2,332	1,534	3,251	1,349	2,096	1,581
20	5,096	2,981	4,998	3,000	4,465	3,107
30	8,451	4,309	7,546	4,490	7,125	4,575
40	12,961	5,407	11,986	5,602	12,129	5,574
50	19,588	6,082	13,981	7,204	17,200	6,560
75	27,675	9,465	25,635	9,873	24,567	10,087
100	43,965	11,207	34,191	13,162	54,300	9,142
150	68,648	16,270	62,894	17,421	67,485	16,503
200	108,931	18,214	105,340	18,932	112,080	17,584
250	147,582	20,484	140,569	21,886	156,365	18,727
300	174,752	25,051	194,675	21,065	208,456	18,308
350	231,831	23,634	-	-	-	-

Lampiran 19. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada Biosorben SBD-non amobil pada suhu 27°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	3,581	1,284	2,789	1,275	0,249
20	8,375	2,325	3,602	2,125	0,844
30	11,218	3,756	2,986	2,417	1,323
40	16,125	4,775	3,377	2,780	1,563
50	22,453	5,509	4,075	3,111	1,706
75	28,675	9,265	3,094	3,356	2,226
100	46,679	10,664	4,377	3,843	2,366
150	76,354	14,729	5,184	4,335	2,689
200	115,875	16,825	6,887	4,752	2,823
250	167,453	16,509	10,142	5,120	2,804

Lampiran 20. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi pada suhu 35°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	3,120	1,376	2,267	1,137	0,319
20	7,898	2,420	3,263	2,067	0,883
30	10,946	3,810	2,872	2,393	1,338
40	15,974	4,805	3,324	2,771	1,569
50	21,254	5,749	3,696	3,056	1,749
75	27,361	9,527	2,871	3,309	2,254
100	43,276	11,345	3,814	3,767	2,428
150	74,376	15,125	4,917	4,309	2,716
200	110,265	17,947	6,143	4,703	2,887
250	156,376	18,725	8,351	5,052	2,929

Lampiran 21. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD-non amobil pada suhu 45°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	2,621	1,476	1,775	0,963	0,389
20	3,983	3,203	1,243	1,382	1,164
30	5,743	4,851	1,183	1,747	1,579
40	6,874	6,625	1,037	1,927	1,890
50	11,376	7,725	1,473	2,431	2,044
75	21,653	10,669	2,029	3,075	2,367
100	30,982	13,804	2,244	3,433	2,625
150	45,647	20,871	2,187	3,821	3,038
200	56,780	28,644	1,982	4,039	3,355
250	89,365	32,127	2,781	4,492	3,469

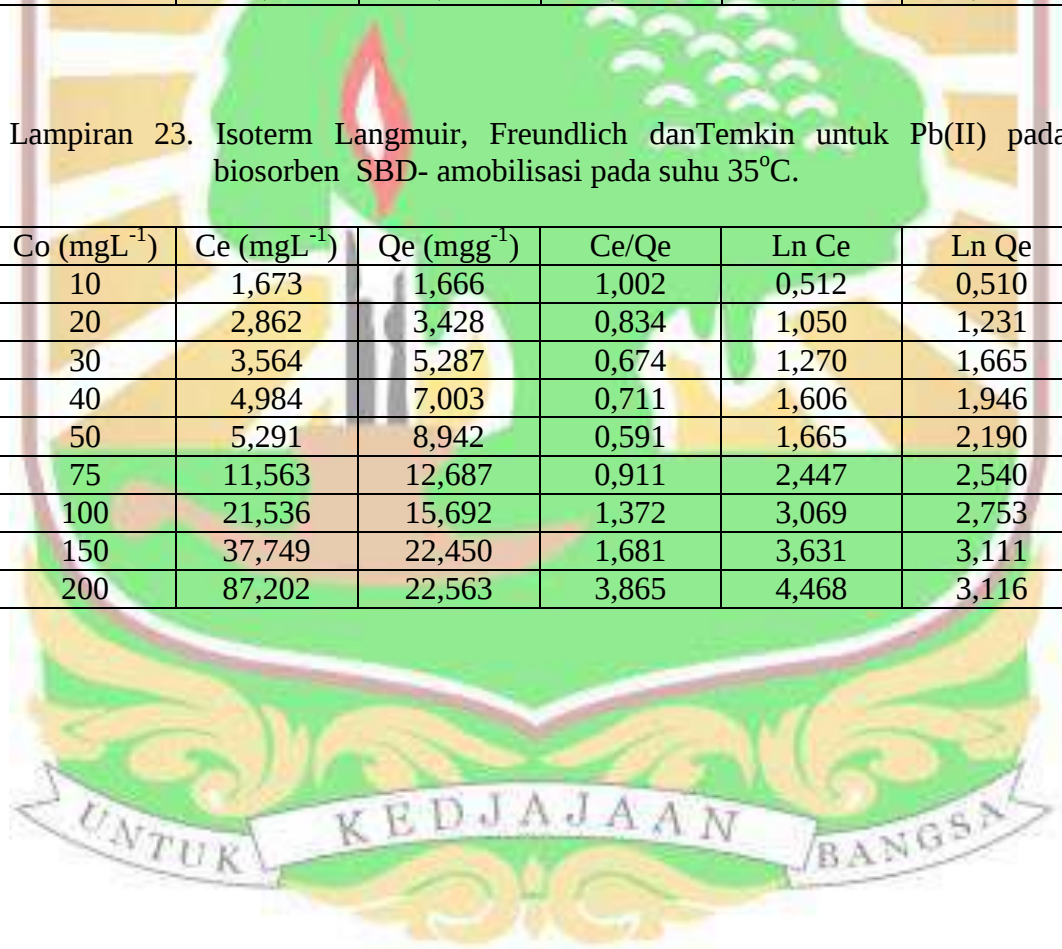


Lampiran 22. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD- amobilisasi pada suhu 27°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	1,289	1,742	0,739	0,253	0,555
20	1,074	3,785	0,283	0,071	1,331
30	2,228	5,554	0,401	0,801	1,714
40	3,801	7,239	0,525	1,335	1,979
50	3,254	9,349	0,348	1,179	2,235
75	10,265	12,947	0,793	2,328	2,560
100	17,952	16,410	1,094	2,887	2,797
150	19,802	26,040	0,763	2,985	3,259
200	25,871	34,826	0,743	3,253	3,550
250	75,564	34,887	2,165	4,324	3,552
300	125,654	34,869	3,603	4,833	3,551

Lampiran 23. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD- amobilisasi pada suhu 35°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	1,673	1,666	1,002	0,512	0,510
20	2,862	3,428	0,834	1,050	1,231
30	3,564	5,287	0,674	1,270	1,665
40	4,984	7,003	0,711	1,606	1,946
50	5,291	8,942	0,591	1,665	2,190
75	11,563	12,687	0,911	2,447	2,540
100	21,536	15,692	1,372	3,069	2,753
150	37,749	22,450	1,681	3,631	3,111
200	87,202	22,563	3,865	4,468	3,116

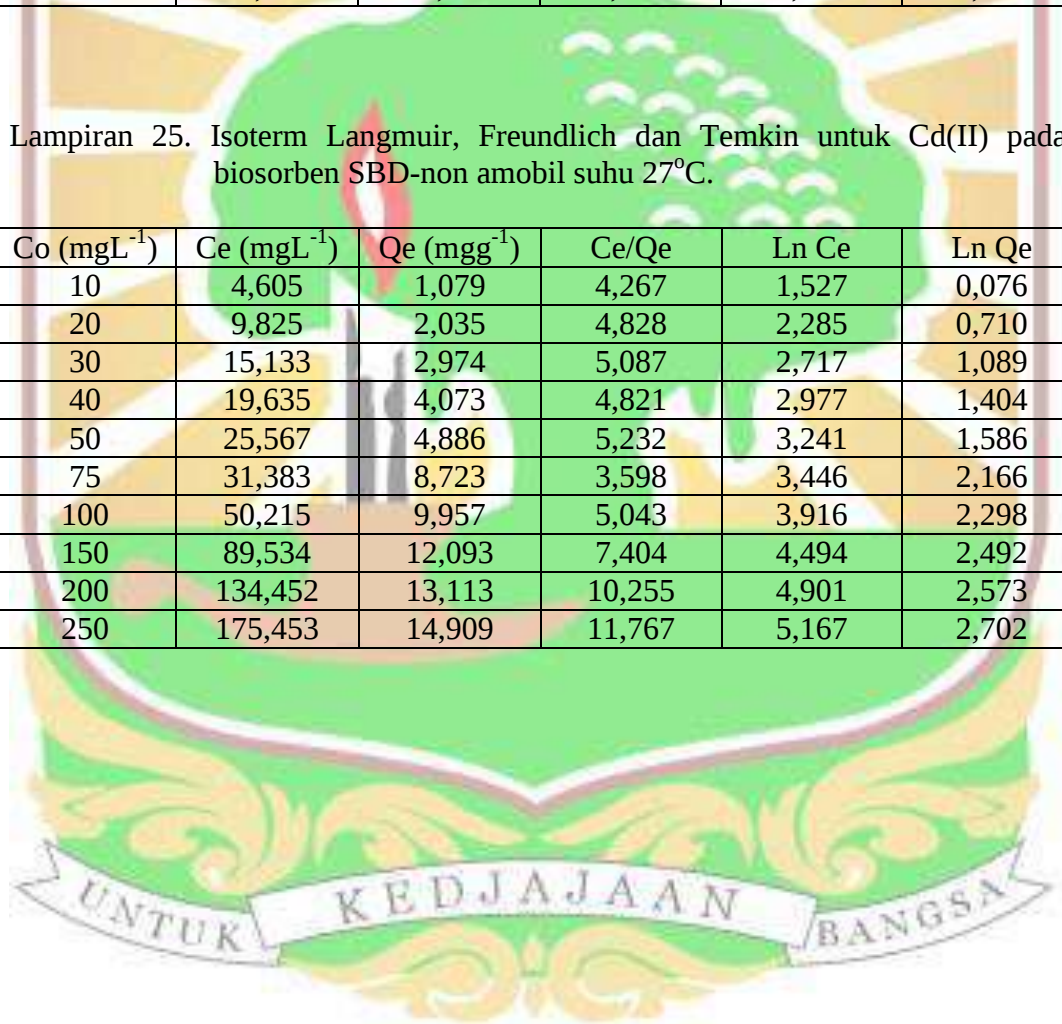


Lampiran 24. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Pb(II) pada biosorben SBD- amobilisasi pada suhu 45°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	1,802	1,642	1,097	0,588	0,495
20	2,946	3,410	0,863	1,080	1,227
30	3,453	5,309	0,650	1,239	1,669
40	4,121	7,176	0,574	1,415	1,970
50	4,987	9,003	0,553	1,606	2,197
75	23,465	10,307	2,276	3,155	2,332
100	35,463	12,908	2,747	3,568	2,557
150	54,645	19,071	2,865	4,001	2,948
200	84,645	23,071	3,669	4,438	3,138

Lampiran 25. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 27°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	4,605	1,079	4,267	1,527	0,076
20	9,825	2,035	4,828	2,285	0,710
30	15,133	2,974	5,087	2,717	1,089
40	19,635	4,073	4,821	2,977	1,404
50	25,567	4,886	5,232	3,241	1,586
75	31,383	8,723	3,598	3,446	2,166
100	50,215	9,957	5,043	3,916	2,298
150	89,534	12,093	7,404	4,494	2,492
200	134,452	13,113	10,255	4,901	2,573
250	175,453	14,909	11,767	5,167	2,702



Lampiran 26. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 35°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	2,735	1,453	1,882	1,006	0,373
20	8,987	2,203	4,080	2,195	0,789
30	14,861	3,027	4,908	2,698	1,107
40	17,908	4,418	4,053	2,885	1,486
50	21,091	5,782	3,647	3,048	1,754
75	29,689	9,062	3,276	3,390	2,204
100	50,675	9,865	5,137	3,925	2,289
150	85,476	12,904	6,624	4,448	2,558
200	130,252	13,952	9,337	4,869	2,635
250	165,563	16,888	9,803	5,109	2,826

Lampiran 27, Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 45°C

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	1,503	1,699	0,884	0,407	0,530
20	5,365	2,927	1,833	1,679	1,073
30	10,398	3,920	2,652	2,341	1,366
40	13,476	5,305	2,540	2,600	1,668
50	20,712	5,858	3,535	3,031	1,767
75	23,574	10,285	2,292	3,160	2,330
100	26,752	14,652	1,825	3,286	2,684
150	42,653	21,469	1,986	3,753	3,066
200	92,032	21,603	4,259	4,521	3,072
250	100,265	29,947	3,348	4,607	3,399



Lampiran 28. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 27°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	2,365	1,527	1,548	0,861	0,423
20	5,395	2,921	1,846	1,685	1,071
30	6,562	4,688	1,399	1,881	1,545
40	13,941	5,212	2,674	2,634	1,650
50	16,362	6,728	2,431	2,795	1,906
75	23,765	10,247	2,319	3,168	2,326
100	35,353	12,932	2,733	3,565	2,559
150	67,602	16,483	4,101	4,213	2,802
200	109,621	18,082	6,061	4,696	2,895
250	153,652	19,274	7,973	5,034	2,958
300	206,803	18,643	11,094	5,331	2,925

Lampiran 29. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 35°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	2,002	1,599	1,251	0,694	0,469
20	4,365	3,127	1,395	1,473	1,140
30	5,476	4,905	1,116	1,700	1,590
40	11,367	5,726	1,985	2,430	1,745
50	12,473	7,505	1,662	2,523	2,015
75	21,367	10,726	1,992	3,061	2,372
100	31,675	13,665	2,317	3,455	2,615
150	63,874	17,225	3,708	4,157	2,846
200	109,202	18,163	6,013	4,693	2,899
250	145,756	20,848	6,991	4,981	3,037

Lampiran 30. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Cd(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 45°C

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	1,443	1,711	0,843	0,366	0,537
20	3,875	3,225	1,202	1,354	1,171
30	4,985	5,003	0,996	1,606	1,610
40	10,473	5,905	1,773	2,349	1,775
50	17,562	6,488	2,706	2,865	1,869
75	20,152	10,969	1,837	3,003	2,395
100	26,851	14,632	1,835	3,290	2,683
150	60,253	17,949	3,356	4,098	2,887
200	105,467	18,906	5,578	4,658	2,939
250	132,122	23,576	5,604	4,883	3,160

Lampiran 31. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-non amobilisasi suhu 27°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	3,011	1,398	2,153	1,101	0,335
20	6,213	2,758	2,252	1,826	1,014
30	8,324	4,336	1,918	2,119	1,466
40	11,425	5,715	1,999	2,436	1,743
50	17,152	6,575	2,611	2,841	1,882
75	26,136	9,774	2,673	3,263	2,279
100	30,215	13,957	2,165	3,408	2,635
150	67,285	16,543	4,067	4,208	2,805
200	108,354	18,332	5,911	4,685	2,908
250	160,655	17,869	8,991	5,079	2,883

Lampiran 32. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 35°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	3,158	1,368	2,307	1,149	0,313
20	6,121	2,776	2,205	1,811	1,021
30	8,087	4,383	1,845	2,090	1,477
40	10,453	5,909	1,768	2,346	1,776
50	17,528	6,494	2,698	2,863	1,871
75	25,324	9,935	2,548	3,231	2,296
100	29,985	14,003	2,141	3,400	2,639
150	65,541	16,891	3,880	4,182	2,826
200	115,654	16,869	6,855	4,750	2,825

Lampiran 33. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-non amobil suhu 45°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	2,755	1,449	1,901	1,013	0,371
20	6,145	2,771	2,217	1,815	1,019
30	8,355	4,329	1,930	2,122	1,465
40	12,243	5,551	2,205	2,505	1,714
50	13,265	7,347	1,805	2,585	1,994
75	28,758	9,248	3,109	3,358	2,224
100	36,862	12,628	2,918	3,607	2,536
150	67,465	16,507	4,087	4,212	2,804
200	112,081	17,584	6,373	4,719	2,866



Lampiran 34. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD- amobilisasi suhu 27°C

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	2,332	1,534	1,518	0,845	0,427
20	5,096	2,981	1,709	1,628	1,092
30	8,451	4,309	1,961	2,134	1,461
40	12,961	5,408	2,396	2,561	1,688
50	19,588	6,082	3,220	2,974	1,805
75	27,675	9,465	2,923	3,321	2,247
100	43,965	11,207	3,922	3,783	2,416
150	68,648	16,270	4,219	4,228	2,789
200	108,932	18,214	5,980	4,690	2,902
250	147,581	20,484	7,204	4,994	3,019
300	174,752	25,051	6,976	5,163	3,221
350	231,833	23,634	9,809	5,446	3,162

Lampiran 35. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 35°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	3,251	1,349	2,409	1,179	0,299
20	4,998	3,000	1,666	1,609	1,098
30	7,546	4,491	1,680	2,021	1,502
40	11,986	5,603	2,139	2,484	1,723
50	13,981	7,204	1,941	2,638	1,975
75	25,635	9,873	2,596	3,244	2,289
100	34,192	13,162	2,597	3,532	2,577
150	62,894	17,421	3,610	4,141	2,857
200	105,341	18,932	5,564	4,657	2,941
250	140,569	21,886	6,423	4,946	3,086
300	194,675	21,065	9,242	5,271	3,048

Lampiran 36. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Temkin untuk Zn(II) pada biosorben SBD-amobilisasi suhu 45°C.

Co (mgL ⁻¹)	Ce (mgL ⁻¹)	Qe (mgg ⁻¹)	Ce/Qe	Ln Ce	Ln Qe
10	2,096	1,581	1,325	0,740	0,457
20	4,465	3,107	1,437	1,496	1,134
30	7,125	4,575	1,557	1,963	1,521
40	12,129	5,574	2,176	2,495	1,718
50	17,202	6,561	2,622	2,845	1,801
75	24,567	10,087	2,435	3,201	2,311
100	54,321	9,142	5,941	3,994	2,213
150	67,485	16,503	4,089	4,212	2,804
200	112,082	17,584	6,374	4,719	2,866
250	156,365	18,727	8,349	5,052	2,929
300	208,456	18,309	11,386	5,339	2,907

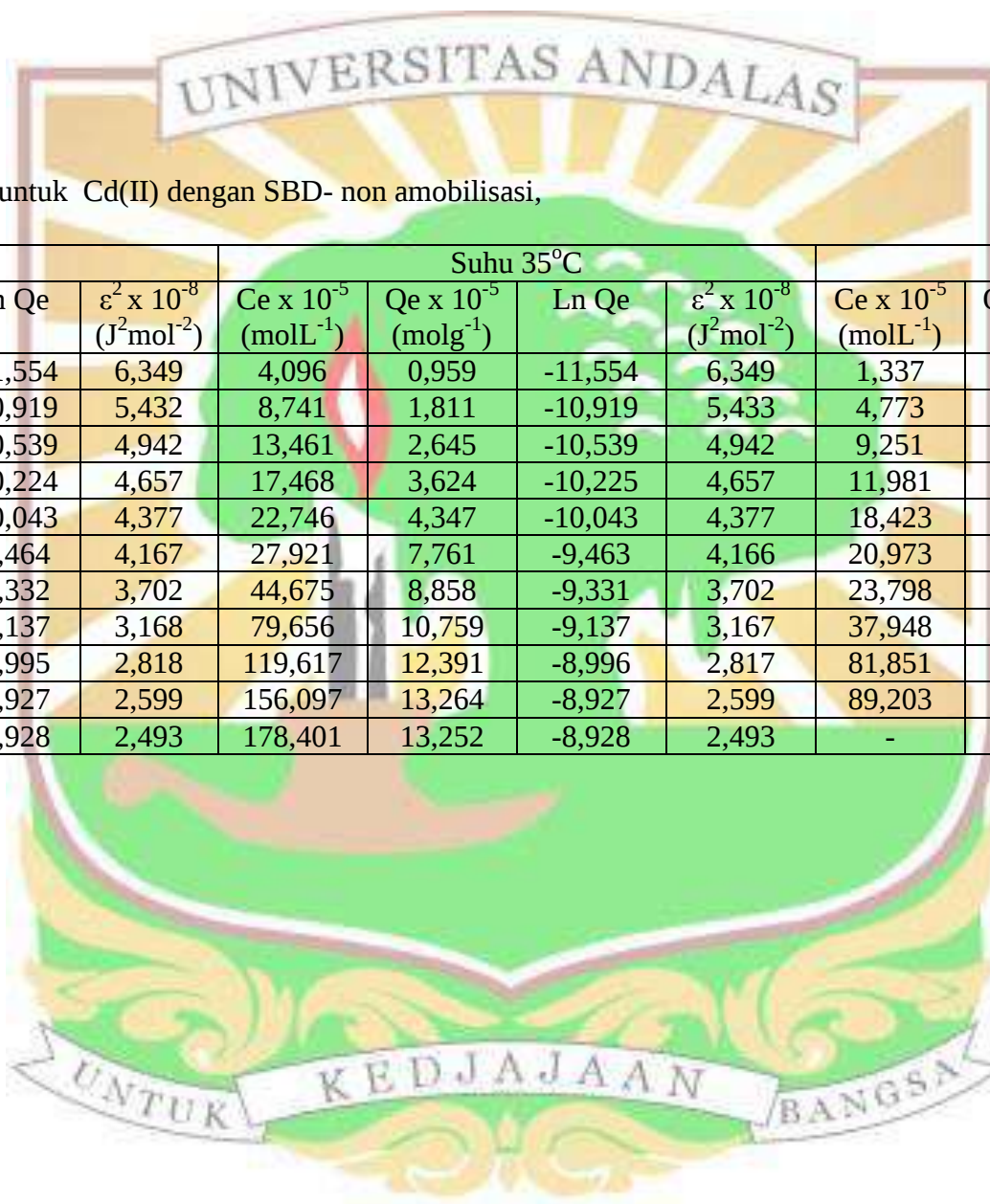


Lampiran 37. Isoterm D-R untuk Pb(II) dengan SBD- non amobilisasi

Suhu 27°C				Suhu 35°C				Suhu 45°C			
Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)
1,728	61,959	-11,992	7,481	1,505	66,409	-11,922	8,084	0,126	71,226	-11,852	8,891
4,042	1,122	-11,397	6,366	3,812	1,168	-11,357	6,789	0,192	1,546	-11,077	8,243
5,414	1,813	-10,918	6,004	5,283	1,839	-10,903	6,360	2,772	2,341	-10,662	7,696
7,782	2,305	-10,678	5,568	7,709	2,319	-10,671	5,881	3,318	3,197	-10,351	7,435
10,836	2,658	-10,535	5,189	10,257	2,775	-10,492	5,532	5,490	3,728	-10,197	6,726
13,839	4,472	-10,015	4,912	13,205	4,598	-9,987	5,232	10,450	5,149	-9,874	5,873
22,529	5,147	-9,875	4,387	20,886	5,475	-9,813	4,709	14,953	6,661	-9,616	5,423
36,850	7,108	-9,552	3,888	35,895	7,299	-9,525	4,126	22,030	10,07	-9,203	4,956
55,924	8,120	-9,418	3,489	53,216	8,662	-9,354	3,727	27,404	13,822	-8,886	4,702
80,817	7,967	-9,437	3,155	75,471	9,037	-9,311	3,389	43,130	15,505	-8,772	4,197

Lampiran 38 : Isoterm D-R untuk Pb(II) dengan SBD- amobilisasi Ca-alginat

Suhu 27°C				Suhu 35°C				Suhu 45°C			
Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)
0,622	84,083	-11,686	8,939	0,805	0,804	-11,731	9,020	0,868	0,791	-11,746	9,492
0,518	1,826	-10,910	9,213	1,380	1,654	-11,009	8,211	1,421	1,646	-11,014	8,707
1,075	2,681	-10,526	8,142	1,720	2,551	-10,576	7,892	1,666	2,562	-10,572	8,461
1,834	3,494	-10,261	7,399	2,405	3,379	-10,295	7,417	1,988	3,463	-10,270	8,191
1,570	4,512	-10,006	7,611	2,553	4,315	-10,050	7,334	2,406	4,344	-10,043	7,905
4,954	6,248	-9,680	6,112	5,581	6,123	-9,701	6,289	11,324	4,974	-9,908	5,771
8,663	7,919	-9,443	5,443	10,394	7,573	-9,488	5,516	17,113	6,229	-9,683	5,258
9,555	12,568	-8,981	5,329	18,218	10,835	-9,130	4,861	26,373	9,204	-9,293	4,746
12,485	16,808	-8,691	5,026	42,084	10,888	-9,125	3,962	40,851	11,134	-9,102	4,256
36,469	16,837	-8,689	3,899	-	-	-	-	-	-	-	-
60,644	16,829	-8,689	3,414	-	-	-	-	-	-	-	-



Lampiran 39 : Isoterm D-R untuk Cd(II) dengan SBD- non amobilisasi,

Suhu 27°C				Suhu 35°C				Suhu 45°C			
Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	ε ² x 10 ⁻⁸ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	ε ² x 10 ⁻⁸ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	ε ² x 10 ⁻⁸ (J ² mol ⁻²)
4,096	0,959	-11,554	6,349	4,096	0,959	-11,554	6,349	1,337	1,512	-11,099	8,803
8,741	1,810	-10,919	5,432	8,741	1,811	-10,919	5,433	4,773	2,604	-10,555	6,921
13,460	2,645	-10,539	4,942	13,461	2,645	-10,539	4,942	9,251	3,488	-10,263	6,030
17,468	3,623	-10,224	4,657	17,468	3,624	-10,225	4,657	11,981	4,719	-9,961	5,698
22,746	4,347	-10,043	4,377	22,746	4,347	-10,043	4,377	18,423	5,212	-9,862	5,169
27,920	7,761	-9,464	4,167	27,921	7,761	-9,463	4,166	20,973	9,151	-9,299	5,015
44,675	8,858	-9,332	3,702	44,675	8,858	-9,331	3,702	23,798	13,034	-8,945	4,866
79,656	10,758	-9,137	3,168	79,656	10,759	-9,137	3,167	37,948	19,100	-8,563	4,337
119,617	12,392	-8,995	2,818	119,617	12,391	-8,996	2,817	81,851	19,217	-8,557	3,532
156,097	13,264	-8,927	2,599	156,097	13,264	-8,927	2,599	89,203	26,643	-8,230	3,448
178,401	13,252	-8,928	2,493	178,401	13,252	-8,928	2,493	-	-	-	-

Lampiran 40 : Isoterm D-R untuk Cd(II) dengan SBD- amobilisasi Ca-alginat,

Suhu 27°C				Suhu 35°C				Suhu 45°C			
Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)
2,104	1,358	-11,206	7,214	1,781	1,423	-11,160	7,842	1,284	1,523	-11,093	8,867
4,799	2,598	-10,557	6,152	3,883	2,782	-10,489	6,764	3,447	2,869	-10,458	7,380
5,836	4,171	-10,085	5,912	4,871	4,364	-10,039	6,465	4,435	4,451	-10,019	7,023
12,402	4,637	-9,978	5,033	10,113	5,095	-9,884	5,549	9,317	5,253	-9,853	6,021
14,555	5,985	-9,723	4,856	11,097	6,677	-9,614	5,437	15,623	5,772	-9,759	5,369
21,143	9,116	-9,302	4,454	19,009	9,543	-9,257	4,814	17,929	9,759	-9,235	5,202
31,450	11,506	-9,070	4,046	28,181	12,157	-9,014	4,382	23,888	13,016	-8,947	4,862
60,142	14,662	-8,827	3,422	56,827	15,325	-8,783	3,662	53,606	15,969	-8,742	3,965
97,508	16,085	-8,735	2,991	97,153	16,156	-8,730	3,156	93,832	16,821	-8,690	3,398
136,699	17,144	-8,671	2,707	129,676	1,855	-8,592	2,899	117,544	20,975	-8,469	3,182
183,986	16,584	-8,705	2,469	-	-	-	-	-	-	-	-

Lampiran 41 : Isoterm D-R untuk Zn(II) dengan SBD-non amobilisasi,

Suhu 27°C				Suhu 35°C				Suhu 45°C			
Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)
4,609	2,141	-10,752	6,202	4,836	2,095	-10,773	6,474	4,219	2,219	-10,715	7,092
9,509	4,223	-10,072	5,335	9,372	4,251	-10,066	5,641	9,410	4,243	-10,067	6,008
12,741	6,640	-9,619	5,004	12,384	6,711	-9,609	5,307	12,795	6,629	-9,621	5,616
17,496	8,752	-9,344	4,655	16,007	9,049	-9,310	5,008	18,749	8,501	-9,372	5,148
26,263	10,061	-9,204	4,229	26,842	9,945	-9,216	4,434	20,314	11,251	-9,092	5,052
40,015	14,967	-8,807	3,808	38,781	15,215	-8,791	4,046	44,039	14,163	-8,862	4,175
46,271	21,374	-8,451	3,668	45,919	21,444	-8,447	3,874	56,447	19,338	-8,550	3,911
103,039	25,334	-8,280	2,944	100,369	25,868	-8,259	3,126	103,315	25,278	-8,282	3,305
165,926	28,070	-8,178	2,551	177,112	25,833	-8,261	2,634	171,638	26,928	-8,219	2,835
246,026	27,365	-8,203	2,247	-	-	-	-	-	-	-	-
4,609	2,141	-10,752	6,202	-	-	-	-	-	-	-	-

Lampiran 42 : Isoterm D-R untuk Zn(II) dengan SBD- amobilisasi Ca-alginat,

Suhu 27°C				Suhu 35°C				Suhu 45°C			
Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)	Ce x 10 ⁻⁵ (molL ⁻¹)	Qe x 10 ⁻⁵ (molg ⁻¹)	Ln Qe	$\varepsilon^2 \times 10^{-8}$ (J ² mol ⁻²)
3,568	2,349	-10,658	6,524	4,978	2,067	-10,786	6,436	3,209	2,420	-10,628	7,483
7,804	4,565	-9,994	5,565	7,653	4,594	-9,988	5,890	6,837	4,758	-9,953	6,429
12,942	6,601	-9,625	4,986	11,555	6,877	-9,584	5,389	10,911	7,006	-9,566	5,818
19,848	8,282	-9,398	4,521	18,355	8,580	-9,363	4,853	18,574	8,536	-9,368	5,159
29,997	9,315	-9,281	4,093	21,408	11,032	-9,112	4,681	26,341	10,045	-9,205	4,748
42,381	14,494	-8,839	3,752	39,257	15,119	-8,796	4,034	37,621	15,446	-8,775	4,346
67,327	17,162	-8,670	3,318	52,358	20,156	-8,509	3,743	83,154	13,996	-8,874	3,516
105,127	24,916	-8,297	2,926	96,315	26,678	-8,229	3,164	103,346	25,272	-8,283	3,304
166,815	27,893	-8,184	2,546	161,317	28,992	-8,145	2,712	171,638	26,928	-8,219	2,835
226,003	31,369	-8,067	2,311	215,266	33,516	-8,001	2,474	239,456	28,678	-8,156	2,547
267,611	38,361	-7,865	2,185	298,124	32,258	-8,039	2,219	319,228	28,038	-8,179	2,311