

LAPORAN TEKNIS 2018

504/AIR 4/OT 02 02/01/2019

PROTOTIPE PRODUK POLIMER IRADIASI

**Tita Puspitasari, Meri Suhartini, Darmawan Darwis, Gatot Trimulyadi, Ambyah Siliwarno,
Dewi Sekar Pangerteni, Sri Susilawati, Nunung Nuryanthi, Adjat Sudrajat, Santoso, Akhmad
Rasyid Saputra, Mamat Yasin, Wijaya Murti, Iswandi Anas Lasimin, Erwansyah**



**PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
2019**

LAPORAN TEKNIS 2018

504/AIR 4/OT 02 02/03/2019

PROTOTYPE PRODUK POLIMER IRADIASI

Tita Puspitasari, Meri Suhartini, Darmawan Darwis, Gatot Trimulyadi, Ambyah Siliwarno, Dewi Sekar Pangerteni, Sri Susilawati, Nunung Nuryanthi, Adjat Sudrajat, Santoso, Akhmad Rasyid Saputra, Mamat Yasin, Wijaya Murti, Iswandi Anas Lasimin, Erwansyah

Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Proses Radiasi



Dr. Tita Puspitasari, M.Si
NIP. 19691023 199201 2 001

Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



Totti Tjiptosumirat
NIP. 19630830 198803 1 002

ABSTRAK

PROTOTYPE PRODUK POLIMER IRADIASI. Telah dilakukan sintesis adsorben berbasis hibrida zeolit termodifikasi silan yang dicangkok dengan akrilonitril dan selanjutnya diamidoksimasi (ZM-AMO) dan adsorben berbasis selulosa tercangkok glisidil metakrilat dan terfungsionalisasi etilendiamin (SG-EDA) menggunakan teknik Radiation Induced Graft Polymerization (RGIP). Uji kapasitas adsorpsi yang menunjukkan kinerja adsorben dilakukan masing-masing pada ion logam Cd^{2+} dan Pb^{2+} serta Fe^{3+} dan Hg^{2+} . Selain itu juga telah dilakukan aplikasi oligokitosan pada fase vegetatif tanaman lada di Bangka. Aplikasi oligokitosan diberikan dengan konsentrasi antara 50 – 200 ppm. Selain oligokitosan dilakukan pemberian pupuk bioorganik (superbios) dengan konsentrasi 500 gram dan 1000 gram per tanaman. Pengamatan dilakukan terhadap performan tanaman seperti lingkaran batang sulur panjat (LBSP), jumlah sulur panjat (JSP), Tinggi sulur panjat (TSP), morbiditas tanaman, serangan penyakit kuning dan jumlah produksi (panen perdana). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses modifikasi zeolit dengan senyawa silan sudah berhasil dilakukan, dimana telah terjadi perubahan sifat hidrofilik zeolit menjadi hidrofobik. Proses pencangkokan akrilonitril pada zeolit maupun glisidil metakrilat pada selulosa dikonfirmasi dengan FTIR. Persen pencangkokan akrilonitril pada zeolit tertinggi sebesar 67,44% diperoleh pada dosis 25 kGy dengan laju dosis 2 kGy/j pada sampel yang tidak menggunakan pelarut. Kapasitas adsorpsi ZM-AMO yang dihasilkan sebesar 200 mg/g pada konsentrasi 600 ppm baik terhadap ion logam Cd^{2+} maupun Pb^{2+} . Kondisi optimal kinerja adsorben SG-EDA yang diperoleh yaitu pada pH 5 dan 7 dan waktu kontak 2 jam dan 1 jam, berturut-turut untuk ion Fe^{2+} dan Hg^{2+} . Kapasitas adsorpsi terhadap ion Fe^{2+} dan Hg^{2+} adalah 3963 dan 17257 mg/g pada konsentrasi awal 3000 ppm. Hasil aplikasi oligokitosan pada tanaman lada yang diperoleh menunjukkan bahwa pada tanaman berumur 1 tahun 3 bulan lingkaran batang sulur panjat berkisar antara 2,7 sampai dengan 3,06 cm dimana lingkaran batang terbesar pada tanaman yang diberi pupuk bioorganik 1000 mg/tanaman (K1B3) dan diikuti dengan tanaman yang diberi kitosan 200 ppm dan pupuk bioorganik 500 mg/tanaman (K4B2). Sedangkan lingkaran batang terkecil ada pada tanaman yang diberi kitosan 50 ppm (K2B1). Jumlah sulur panjat rata-rata tanaman berkisar antara 1,7 sampai dengan 2,58 dengan jumlah sulur panjat tertinggi ada pada tanaman yang diberi kitosan 200 ppm (K4B1). Tinggi sulur panjat berkisar antara 117 sampai dengan 150,9 cm, dimana Tinggi Sulur Panjat tertinggi ada pada tanaman yang diberi kitosan 200 ppm (K4B1) yaitu 150,91 cm dan yang terendah pada tanaman kitosan 50 ppm (K2B1) yaitu 117 cm. Morbiditas tanaman per kelompok perlakuan pada umur tanaman 15 bulan (1 tahun 3 bulan) berkisar dari nol sampai 2 tanaman. Jumlah tanaman dengan kematian 2 tanaman yaitu pada kelompok tanaman kontrol (K1B1) dan tanaman yang diberi kitosan 50 ppm dan pupuk bioorganik 500 mg/tanaman (K2B2), sedangkan tanaman dengan kematian 1 tanaman yaitu kelompok K1B3, K2B1, K3B3 dan K4B3. Kelompok tanaman yang tahan kematian atau tidak ada tanaman yang mati yaitu pada kelompok K1B2, K2B3, K3B1, K3B2, K4B1, K4B2. Jumlah tanaman yang terkena ulat berkisar antara 2 sampai 6 tanaman dengan rincian sebabnya sebagai berikut: kelompok tanaman yang terkena ulat 6 batang, (K1B2, K2B3, K3B2, K4B3). 5 batang (K3B1), 4 batang (K2B1, K2B2, K4B1, K4B2), 3 batang (K1B1, K3B3) dan 2 batang (K1B3). Tanaman yang terkena penyakit kuning tertinggi terdapat pada kelompok tanaman K3B1 sedangkan kelompok tanaman yang tidak mengalami serangan penyakit kuning yaitu kelompok tanaman K4B3). produksi awal tertinggi pada kelompok pemberian kitosan 100 ppm dan

pupuk bioorganik 1000 mg/tanaman (K3B3) yaitu 280 gram, lalu diikuti dengan K1B2 dan K2B2 dengan produksi 200 gram. Produksi terendah ada pada kelompok tanaman pemberian pupuk bios 500 gram per tanaman (K1B2). Sedangkan tanaman kontrol K1B1) produksi 90 mg.

Kata kunci: adsorben, logam berat, hibrida zeolit, selulosa, oligokitosan, lada

PENDAHULUAN

Dewasa ini, perkembangan industri di Indonesia menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan. Peningkatan investasi industri di satu sisi berdampak positif pada pertumbuhan ekonomi Indonesia. Namun di sisi lain dapat memberikan dampak yang tidak diinginkan terutama masalah limbah logam berat. Limbah dari berbagai industri seperti cat, elektroplating, baterai, percetakan, bahan fotografi, pestisida, pupuk dan tekstil menghasilkan pencemaran ion logam berat. Kontaminasi ion logam berat sudah masuk ke berbagai perairan di Indonesia seperti laut (Rochyatun, 2007), sungai (Yudo, 2006) dan tanah (Putranto, 2011). Kontaminasi ion logam berat di perairan merupakan masalah besar dan serius karena ion logam berat tidak dapat terdegradasi dan dapat masuk ke rantai makanan serta cenderung terakumulasi di dalam organ tubuh manusia yang menyebabkan masalah kesehatan (Gotoh dkk., 2004; Gyanaanath dan Balhal, 2012; Agustina, 2014). Gangguan kesehatan yang diakibatkan oleh logam berat diantaranya adalah ensefalopati, gangguan kognitif, kerusakan otak, defisiensi mental, anoreksia, kerusakan ginjal, gangguan perilaku, muntah dan malaise pada manusia (Casarett dan Doull's, 2001; Pehlivan dkk., 2009; Ramirez dkk., 2011). Selain masalah kontaminasi ion logam berat, masalah penyakit pada tanaman juga menurunkan produksi tanaman industri seperti lada yang menjadi andalan komoditas ekspor Indonesia.

Untuk mengatasi hal tersebut dan menjaga kelestarian lingkungan, terutama lingkungan perairan yang menjadi muara dari pembuangan limbah industri maka semua kegiatan-kegiatan yang dapat mencemari atau merusak lingkungan harus dikendalikan. Dari berbagai metoda yang digunakan untuk menghilangkan kontaminasi ion logam berat, proses adsorpsi dengan menggunakan resin pengkelat ion banyak dipilih karena memiliki efisiensi yang tinggi, mudah digunakan, dan tersedia dalam berbagai jenis sesuai kebutuhan (Bailey dkk., 1999). Sedangkan untuk mengatasi masalah penyakit pada tanaman khususnya tanaman lada perlu dilakukan intervensi pemberian bahan antimikroba yang bersifat aman dan ramah lingkungan.

Material polimer dan mineral merupakan sumber daya alam berlimpah yang dimiliki Indonesia dan berpotensi tinggi untuk dikembangkan sebagai bahan baku material maju seperti resin pengkelat untuk adsorpsi ion logam berat maupun bahan anti mikroba untuk

mencegah penyakit sehingga menyehatkan tanaman. Namun demikian, pengembangan dan pemanfaatan polimer dan mineral alam di Indonesia masih sangat minim dan terbatas. Oleh sebab itu, penelitian-penelitian tentang pemanfaatan dan pengembangan material maju yang menggunakan sumber daya alam terbarukan dan ramah lingkungan untuk bisa digunakan menggantikan material-material sintetis merupakan suatu tantangan yang harus dijawab oleh bangsa Indonesia.

Pengembangan material fungsional dengan menggunakan teknik iradiasi-gamma sudah banyak dilakukan karena teknik ini relatif sederhana, tidak membutuhkan inisiator bahan kimia dan dapat dilakukan pada suhu ruang. Sinar- γ merupakan radiasi pengion yang dapat menghasilkan radikal bebas dan spesi aktif pada materi yang dilewatinya. Radikal bebas yang dihasilkan ini dapat menginduksi terjadinya reaksi kimia, baik itu menghasilkan pencangkakan maupun ikatan silang serta degradasi polimer (Bhattacharya, 2004). Pencangkakan monomer yang sesuai pada polimer maupun mineral alam dapat menghasilkan resin pengkelat yang memiliki kapasitas adsorpsi dan juga selektifitas yang tinggi, sementara proses degradasi dapat menghasilkan material yang berfungsi mencegah penyakit pada tanaman.

Pengembangan material adsorben ion logam sudah diinisiasi di PAIR-BATAN dan merupakan bagian dari kerjasama regional di bawah IAEA/RAS/1/014 berjudul Supporting Radiation Processing for the Development of the Advanced Grafted Materials for Industrial Applications and Environmental Preservation. Pembuatan adsorben ion logam berat dengan teknik radiasi berbasis selulosa dan polisakarida kitin/kitosan sudah pernah diteliti dan terbukti memiliki kinerja yang sangat baik terhadap ion Zn^{2+} dan Pb^{2+} (Puspitasari dkk, 2015), demikian juga dengan adsorben berbasis selulosa terfungsionalisasi (Suhartini, 2015). Selain itu, teknik pembuatan adsorben berbasis komposit hibrida antara zeolit dan polimer sintetik untuk separasi ion logam berat dengan menggunakan teknik pencangkakan yang diinduksi radiasi juga sudah dipelajari dan menghasilkan adsorben yang cukup selektif (Puspitasari, 2017). Di sisi lain, bahan antimikroba untuk tanaman berbasis kitin/kitosan yang bersifat aman dan ramah lingkungan sudah diperoleh dengan menggunakan teknologi radiasi. Teknologi pembuatan kitin/kitosan sendiri sudah dikuasai oleh PAIR-BATAN dan menghasilkan patent pembuatan oligokitosan iradiasi (Puspitasari, Patent). Produk ini sudah banyak membantu petani terutama untuk komoditas hortikultura tetapi masih belum banyak data yang diperoleh pada aplikasi di tanaman industri karena masa panen yang lebih lama. Penelitian pengembangan aplikasi oligokitosan sebagai bahan anti mikroba dan juga pemercepat tumbuh tanaman (ZPT) yang dapat mencegah penyakit dan menyehatkan

tanaman, sehingga berimplikasi pada naiknya produktivitas pertanian merupakan penelitian kerjasama regional di bawah payung FNCA dan RCARO Phase 2.

Peningkatan performa zeolit sebagai adsorben dapat dilakukan dengan meningkatkan sifat fisik dan juga kapasitas adsorpsi ionnya. Salah satu cara yang dilakukan yaitu dengan memodifikasi zeolit dengan bahan polimer. Berbeda dengan zeolit yang memiliki kestabilan terhadap asam yang rendah tapi stabil terhadap termal, polimer resin memiliki kestabilan terhadap asam yang cukup tinggi, tetapi memiliki stabilitas termal yang rendah [Towsend, 1984]. Hal ini dikarenakan resin polimer memiliki struktur ikatan silang (crosslink) tiga dimensi antar molekul polimernya. Resin yang bisa digunakan sebagai komposit dengan zeolit adalah poliakrilamida atau poliakrilonitril karena memiliki gugus aktif yang dapat menukar ion dan atau bisa difungsionalisasi lebih lanjut sehingga bisa meningkatkan kapasitas adsorpsi dan selektivitasnya [Zendeudel, 2011].

Menurut Oktaviani *et al.*, (2016) dan Puspitasari *et al.*, (2018), proses amidoksimasi dapat mengubah gugus siano pada akrilonitril menjadi gugus amidoksim yang dapat membentuk kompleks stabil agar adsorben yang dihasilkan bersifat sebagai pengkelat yang memiliki selektivitas tinggi terhadap ion logam Pb^{2+} dan Cu^{2+} serta Cd^{2+} (Zheng *et al.*, 2010). Puspitasari (2017) menunjukkan bahwa zeolit termodifikasi amidoksim dengan derajat pencangkakan sebesar 20% memiliki kapasitas adsorpsi terhadap ion Pb^{2+} sebesar 62 mg/g, lebih besar 24% dibandingkan zeolit tanpa modifikasi.

Kapasitas adsorpsi pada ion logam berat dipengaruhi oleh derajat pencangkakan, sehingga untuk mendapatkan derajat pencangkakan yang lebih tinggi perlu dilakukan modifikasi zeolit dengan senyawa silan terlebih dahulu sebelum pencangkakan. Berbagai penelitian sebelumnya diketahui bahwa modifikasi cangkak monomer ke bahan anorganik dapat dilakukan dengan bantuan gugus silan (Zou *et al.*, 2001) yang berperan sebagai *coupling agent* salah satunya adalah *Vinyl-triethoxy-silane* (VTES). Agen penggandeng senyawa silan memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan antara bahan organik dan bahan anorganik sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik, kekuatan ikatan dan kekuatan daya serapnya (Oktaviana *et al.*, 2015). Penelitian pemanfaatan senyawa silan dilakukan oleh Khan *et al.*, (2017) untuk memodifikasi silika, hasilnya menunjukkan kapasitas adsorpsinya terhadap ion Cu^{2+} meningkat.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan adsorben berbasis material hibrida zeolit termodifikasi silan yang dicangkak dengan poliakrilonitril dan selanjutnya diamidoksimasi (ZM-AMO) serta karakterisasi dan uji kapasitas adsorpsinya terhadap ion Cd^{2+} ; selain itu juga dilakukan pembuatan adsorben berbasis selulosa yang dicangkak dengan monomer

glisidil metakrilat (GMA) menjadi SG dan difungsionalisasi dengan etilendiamina (EDA) menjadi adsorben SG-EDA dan dilakukan uji kapasitas adsorpsi terhadap ion Hg^{2+} dan Fe^{2+} ; serta dilakukan aplikasi oligokitosan pada tanaman lada.

METODOLOGI

Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah zeolit alam Lampung Selatan, trides, monomer akrilonitril (Merck), tween 20, tween 80 (Merck), akuades, trides, *Vinyltriethoxysilane* (VTES) (ALDRICH), Kalium Hidroksida (KOH), Kalium Bromida (KBr), Hidroksilamin Hidroklorida ($NH_2OH.HCl$) (Merck), Metanol (CH_3OH) (Merck), Selulosa yang diisolasi dari Jerami padi, Glycidyl Methacrylate (GMA), etilendiamin (DMA), Ammonium Sulfat ($(NH_4)_2SO_4$, Metanol teknis, NaOH p.a (E-Merck), HCl 37% (E-Merck), Aquades, Kertas saring 0,45 μ m, *N,N-Dimethylformamide* (DMF) (Merck), garam2 ion logam, larutan oligokitosan (Fitosan). Semua bahan kimia yang digunakan berkualitas pro analisis (Pa).

Metoda

Proses Sintesis Adsorben

Adsorben Hibrida ZM-AMO

Zeolit yang berasal dari Lampung, ditimbang 500 gram. Kemudian, dicuci dengan air trides menggunakan soklet selama 3x8 jam (setiap 8 jam air diganti). Setelah itu, disaring dan dioven pada suhu 100°C. Setelah kering, zeolit diblender dan disaring dengan saringan 60 mesh. Sebanyak 16 ml *Vinyltriethoxysilane* (VTES) dicampurkan dengan 300 ml trides. Kemudian diaduk dengan stirrer selama 30 menit di dalam gelas piala. Selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas piala berisi 15 gram zeolit klinoptilolit dan campuran diaduk dengan stirrer selama 4 jam pada suhu 60 °C. Kemudian residu disaring, dicuci dengan metanol dan dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C. Produk yang dihasilkan dinamakan zeolit termodifikasi (ZM).

Larutan emulsi monomer akrilonitril (AN) dengan konsentrasi 30 % dibuat dengan melarutkan akrilonitril sebanyak 30 gram dalam akuades 100 mL yang mengandung 2% Tween 80. Selanjutnya, ZM sebanyak 1 gram ditimbang dan dimasukkan ke dalam plastik polietilen, kemudian ditambahkan 1 gram larutan akrilonitril dan diseal. Selain itu juga dibuat formulasi zeolit dan monomer akrilonitril tanpa pelarut dengan perbandingan yang sama. Setelah itu, sampel diiradiasi dengan sinar gamma (Co-60) dengan variasi dosis iradiasi 10, 15, 25, 50 dan 75 kGy. Produk hasil iradiasi selanjutnya dicuci dengan DMF untuk

menghilangkan homopolimer poliakrilonitril selama 24 jam. Kemudian produk dikeringkan dalam oven pada 50 °C. Produk yang dihasilkan dinamakan ZM-PAN. Ditimbang dan dihitung % pencangkakan, dimana ZM-PAN sebelum dan sesudah pencangkakan dengan akrilonitril dihitung dengan menggunakan Persamaan (1):

$$\% \text{ Pencangkakan} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan : W0= Bobot kering ZM sebelum pencangkakan (gram)

W1= Bobot kering ZM-PAN setelah pencangkakan (gram)

Selanjutnya dilakukan proses amidoksimasi untuk memfungsionalisasi ZM-PAN menjadi ZM-AMO. Sejumlah 1 gram ZM-PAN direaksikan dengan 200 ml NH₂OH 6%. Pereaksi NH₂OH 6% dibuat dengan cara melarutkan NH₂OH.HCl dalam pelarut methanol:air (1:1), kemudian dinetralkan dengan KOH. kemudian dipanaskan pada suhu 80 °C selama 3 jam. Setelah itu disaring, dikeringkan dan ditimbang. Produk yang dihasilkan dinamakan ZM-AMO. Dihitung densitas Amidoksim yang terbentuk dengan menggunakan Persamaan (2):

$$\text{Densitas amidoksim (mmol/gram)} = \frac{(W_t - W_o) \times 1000}{33 \times W_o} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan : Wt = Berat ZM-AMO setelah amidoksimasi

Wo = Berat awal ZM-PAN

Adsorben SG-EDA

Pertama-tama dilakukan proses isolasi selulosa dari jerami padi. Batang jerami padi dipotong hingga berukuran 10 cm. kemudian ditambahkan HCl 3% untuk melarutkan mineral yang terkandung di dalamnya dan dicuci dengan akuades hingga pH filtratnya netral, lalu dikeringkan pada suhu 50°C hingga berat konstan. Setelah demineralisasi, serbuk jerami ditambahkan NaOH 1 N dipanaskan pada suhu 70°C selama 3 jam kemudian dicuci dan diberi larutan larutan H₂O₂ 5% pH 12 dan dipanaskan dalam penangas air pada suhu 70°C yang dijaga konstan selama 3 jam, disaring dan endapan dicuci dengan akuades sampai pH netral. selanjutnya selulosa dicetak dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C hingga berat konstan.

Proses pencangkakan GMA pada selulosa dilakukan dengan cara sebagai berikut: sampel selulosa diiradiasi pada dosis 40 kGy menggunakan mesin berkas elektron 2 MeV, 10 mA. Sampel selulosa yang telah diradiasi direaksikan dengan larutan GMA 5% pada suhu 60°C selama 4 jam dengan mengalirkan gas Nitrogen. Selulosa tercangkok (SG) dicuci dengan aquades panas (70°C) kemudian direndam dalam methanol selama 40 menit. Sampel dikeringkan dalam oven pada temperatur 70 °C selanjutnya ditimbang. Persen pencangkakan dihitung menggunakan persamaan (1). Selanjutnya dilakukan proses modifikasi SG dengan

etilendiamin. Sebanyak 80 mg SG dimasukan dalam 15 mL larutan etilendiamin 2N. Kemudian dipanaskan pada 80°C pada penangas air selama 5 jam, dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C, ditimbang hingga diperoleh bobot konstan sehingga dihasilkan SG-EDA.

Karakterisasi dengan FTIR

Keberhasilan sintesis dapat dianalisis menggunakan alat FTIR dengan melihat munculnya puncak serapan pada bilangan gelombang tertentu. sampel dicampurkan dengan serbuk KBr pada wadah. Sampel di analisis pada kisaran bilangan gelombang 600 cm⁻¹ sampai 4000 cm⁻¹.

Adsorpsi ion logam

Percobaan adsorpsi ion logam masing dilakukan pada berbagai variasi konsentrasi awal ion logam tersebut, waktu kontak dan pH yang berbeda. Masing-masing percobaan tersebut dilakukan seperti pada prosedur di bawah ini. Konsentrasi ion logam dianalisis menggunakan SSA (Shimadzu AA 6800) dengan lampu katoda berongga.

Variasi pH

100 mg sampel adsorben direndam dalam larutan ion logam dengan konsentrasi 15 ppm dalam erlenmeyer. Kemudian diaduk (*shaker*) pada 100 rpm dengan waktu kontak selama 150 menit pada variasi pH yaitu 3, 4, 5, 6 dan 7. Selanjutnya, diambil filtratnya dan dianalisis menggunakan instrumen SSA untuk mengetahui konsentrasi akhir ion logam dalam larutan.

Variasi waktu kontak

100 mg sampel adsorben direndam dalam larutan ion logam dengan konsentrasi 15 ppm dalam erlenmeyer. Kemudian erlenmeyer diletakkan di atas pengaduk goyang (*shaker*) pada 100 rpm dengan waktu kontak yang divariasikan selama 60, 90, 120, 150 dan 180 menit pada suhu ruang. Selanjutnya, diambil filtratnya dan dianalisis menggunakan instrumen SSA untuk mengetahui konsentrasi akhir ion logam dalam larutan.

Variasi Konsentrasi ion logam

100 mg sampel adsorben direndam dalam larutan ion logam dengan variasi konsentrasi yaitu 1, 3, 5, 7, 10, 15 dan 20 ppm dalam erlenmeyer. Kemudian diaduk (*shaker*) pada 100 rpm dengan waktu kontak 150 menit pada suhu ruang. Selanjutnya, diambil filtratnya dan dianalisis menggunakan instrumen SSA untuk mengetahui konsentrasi akhir ion logam dalam larutan.

Uji kapasitas adsorpsi maksimum

100 mg sampel adsorben direndam dalam larutan ion logam dengan konsentrasi 3000 ppm dalam erlenmeyer. Kemudian diaduk (*shaker*) pada 100 rpm dengan waktu kontak 150 menit

pada suhu ruang. Selanjutnya, diambil filtratnya dan dianalisis menggunakan instrumen SSA untuk mengetahui konsentrasi akhir ion logam dalam larutan.

$$q_e \text{ (mg/g)} = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{W} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

q_e = kapasitas penyerapan ion logam (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal ion logam (mg/L)

C_t = konsentrasi akhir ion logam (mg/L)

V = volume larutan ion logam (L)

W = berat adsorben (g)

Aplikasi Oligokitosan pada Tanaman Lada

Penelitian dilakukan dengan metode *fix sampling* menggunakan rancangan percobaan petak terpisah (*Split-plot*) yang terdiri dari :

- 1) Perlakuan utama : konsentrasi kitosan (empat taraf) yaitu 0, 50, 100 dan 200 ppm
- 2) Anak perlakuan : konsentrasi biofertilizer (tiga taraf) yaitu 0, 1/2 dan 1 kg

Sehingga terdapat total $4 \times 3 = 12$ unit percobaan. Masing-masing unit percobaan mempunyai ulangan 4 kali, dimana setiap ulangan terdiri dari 5 tanaman sampel, sehingga total tanaman sampel yang diamati adalah $12 \times 4 \times 5 = 240$ tanaman.

Pupuk anorganik (NPK) diberikan dengan dosis dan waktu aplikasi sesuai dengan rekomendasi. Media tanaman terdiri dari tanah topsoil, pupuk organik (pupuk kandang) 5 kg, sekam padi 1 kg, kaptan 200 g/lubang tanam sebagai media dan pupuk dasar. Lada di tanam dengan jarak tanam $21,5m \times 1,5m$ dan ukuran lubang tanam $40cm \times 40cm \times 25cm$.

Penanaman bibit dilakukan setelah lubang tanam telah diisi dengan media tanam yang telah disiapkan sesuai dengan tangkar yang telah ditentukan. Sebelum bibit lada ditanam, plastik polibag harus dibuka dan dibuang dan bibit lada ditanam mengarah ke tiang panjat. Bibit yang baru ditanam, diberi pelindung/naungan agar terhindar dari panas sinar matahari.

Pemberian oligokitosan dan pupuk bio

Oligokitosan diberikan setiap 15 hari sekali. Oligokitosan diberikan dengan cara disemprotkan secara merata pada seluruh daun dan batang tanaman. Pemberian oligokitosan diulangi setiap 15 hari selanjutnya. Pupuk biofertilizer diberikan 15 hari setelah media tanam dimasukkan ke dalam lubang tanah dan pemberian kedua diberikan setelah 6 bulan berikutnya.

Pengamatan dilakukan setiap 15 hari terhadap parameter sebagai berikut LBSP (lingkar batang sulur panjat), JSP (jumlah sulur panjat), TSP (tinggi sulur panjat), morbiditas tanaman dan serangan penyakit. Pengamatan dilakukan secara *fix sampel*. Pengamatan pertama

dilakukan pada awal pertanaman sebagai data awal, selanjutnya dilakukan pengamatan setiap 15 hari berikutnya hingga tanaman berumur 12 bulan.

Secara tabulasi jumlah perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Kombinasi	KETERANGAN
K1B1	Oligo-khitosan 0 ppm, pupuk Superbios 0 kg
K1B2	Oligo-khitosan 0 ppm, pupuk Superbios 0.5 kg
K1B3	Oligo-khitosan 0 ppm, pupuk Superbios 1 kg
K2B1	Oligo-khitosan 50 ppm, pupuk Superbios 0 kg
K2B2	Oligo-khitosan 50 ppm, pupuk Superbios 0.5 kg
K2B3	Oligo-khitosan 50 ppm, pupuk Superbios 1 kg
K3B1	Oligo-khitosan 100 ppm, pupuk Superbios 0 kg
K3B2	Oligo-khitosan 100 ppm, pupuk Superbios 0.5 kg
K3B3	Oligo-khitosan 100 ppm, pupuk Superbios 1 kg
K4B1	Oligo-khitosan 200 ppm, pupuk Superbios 0 kg
K4B2	Oligo-khitosan 200 ppm, pupuk Superbios 0.5 kg
K4B3	Oligo-khitosan 200 ppm, pupuk Superbios 1 kg

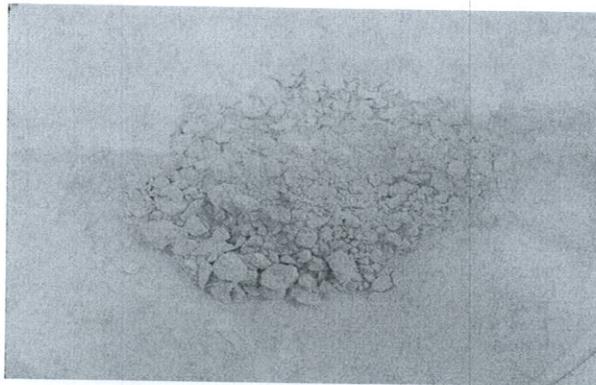
Perhitungan parameter uji dilakukan dengan cara:

1. LBSP (lingkar batang sulur panjang), diukur keliling batang sulur panjang dengan menggunakan alat pengukur meteran kain
2. JSP (jumlah sulur panjang), diukur dengan menghitung kuantitas sulur panjang yang ada
3. TSP (tinggi sulur panjang), diukur dari tanah sampai dengan bagian ujung sulur panjang
4. JCP (jumlah cabang produksi), dihitung jumlah cabang masing-masing tanaman sampel
5. PCP (panjang cabang produksi) diukur dari percabangan sampai dengan bagian ujung cabang
6. JR (jumlah ruas cabang produksi) dihitung jumlah cabang masing-masing tanaman sampel
7. Mortalitas tanaman: mortalitas adalah jumlah tanaman sampel yang mati. Penghitungan mortalitas tanaman dilakukan setiap 2 minggu sekali.
 Persentase stek hidup (PSH) = $(X/T) \times 100\%$
 X= jml stek hidup per perlakuan
 T=Jumlah ulangan dalam perlakuan (3)
 Mortalitas tanaman = $100\% - \text{PSH}$
8. Indeks penyakit
 Indeks penyakit = $n/N \times 100\%$
 n= jumlah tanaman yang terserang penyakit kuning;
 N= jumlah tanaman yang diamati

HASIL DAN PEMBAHASAN

Zeolit Modifikasi (ZM)

Gambar 1 menunjukkan zeolit yang sudah termodifikasi silan (ZM), sedangkan perbedaan hidrofilitas antara zeolit dan ZM ditampilkan pada Gambar 2. Penampilan fisik ZM dan zeolit diamati secara visual. Keadaan fisik yang diamati meliputi sifat hidrofilitas dan warna yang dihasilkan. Pada zeolit modifikasi warna yang terlihat lebih pucat dibandingkan dengan zeolit, dan zeolit modifikasi memiliki sifat hidrofobik dibuktikan dengan produk yang mengapung diatas air, hal ini terjadi disebabkan oleh adanya sifat hidrofobik pada senyawa *Vinyl-triethoxy-silane* (VTES) (Jackson *et al.*, 2006). Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Li *et al.*, 2017) bahwa zeolit yang dimodifikasi dengan *Vinyl-triethoxy-silane* (VTES) bersifat hidrofobik dan VTES merupakan *silane* terbaik karena memiliki gugus (-CH=CH₂) dan (-OCH₃) yang gugusnya dapat mengadsorpsi bahan organik dan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi pada zeolit setelah modifikasi.



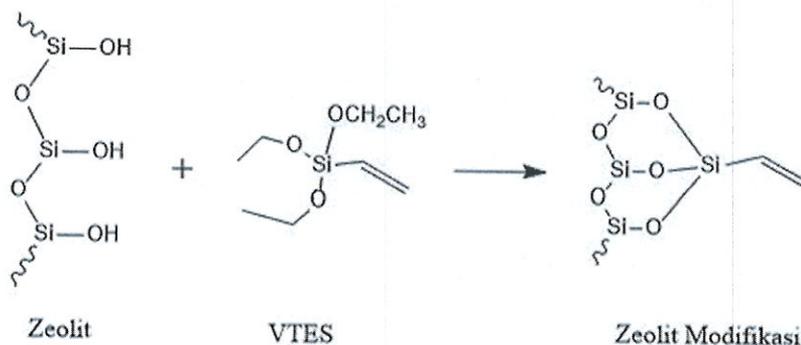
Gambar 1. Zeolit Modifikasi (ZM)



Gambar 2. Hidrofilitas ZM (kiri) dan zeolit (kanan)

Menurut (Demir *et al.*, 2006) mekanisme reaksi terbentuknya zeolit modifikasi (ZM) dari zeolit dan VTES adalah akibat reaksi hidrolisis dan kondensasi, yaitu gugus silanol dari zeolit akan berinteraksi dengan gugus *vinyl* pada reaksi hidrolisis dengan menghilangnya

etanol. Kemudian dilanjut reaksi kondensasi dan ikatan silang antara pasangan molekul *silane* tetangga yang sudah terikat dengan permukaan zeolit. Mekanisme sintesis zeolit modifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.



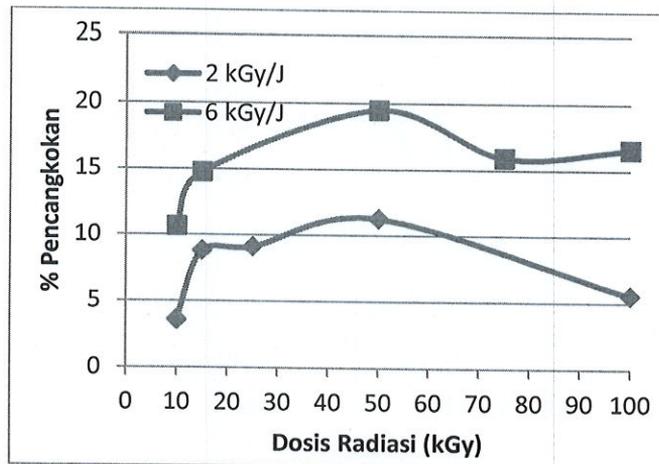
Gambar 1. Sintesis Zeolit Modifikasi (ZM) (Yi *et al.*, 2010)

Sintesis ZM-PAN

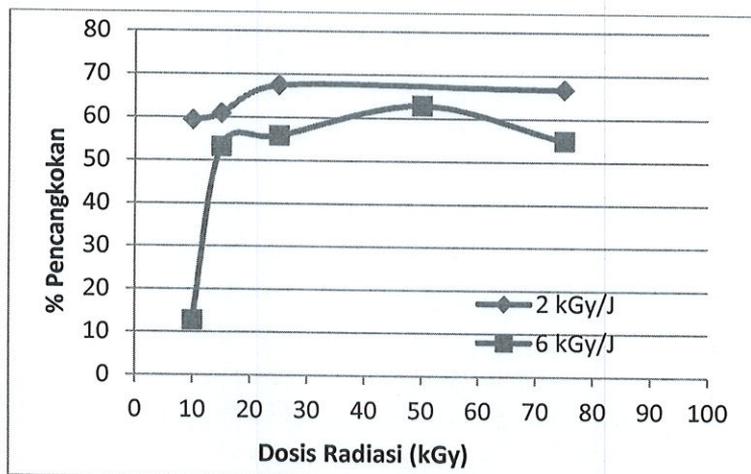
Gambar 4 menunjukkan grafik hasil pencangkakan emulsi akrilonitril pada permukaan zeolit yang sudah dimodifikasi dengan silan *Vinyltriethoxysilane* (VTES) pada laju dosis iradiasi 2 kGy/jam dan 6 kGy/jam dengan variasi dosis 10, 15, 25, 50, 75 dan 100 kGy. Grafik berwarna biru merupakan hasil persen cangkok dengan variasi dosis pada laju 2 kGy/jam. Grafik tersebut menunjukkan bahwa pencangkakan akrilonitril pada matriks zeolit meningkat seiring meningkatnya dosis iradiasi yang diserap, namun tingkat penyerapan melambat ketika dosis iradiasi melebihi dosis 50 kGy. Persen cangkok paling tinggi pada laju dosis 2 kGy/jam yaitu pada dosis 50 kGy, yaitu sebesar 11,27%. Sedangkan grafik berwarna merah merupakan hasil persen cangkok dengan variasi dosis pada laju 6 kGy/jam. Grafik tersebut menunjukkan bahwa persen cangkok paling tinggi terdapat pada dosis iradiasi 50 kGy, yaitu sebesar 19,50% dan penyerapan mulai melambat ketika melebihi dosis 50 kGy. Hasil optimum persen pencangkakan ini yaitu pada dosis 50 kGy/jam dengan laju dosis 6 kGy/jam.

Gambar 5 menunjukkan grafik hasil pencangkakan monomer akrilonitril tanpa menggunakan media pelarut pada permukaan zeolit yang sudah dimodifikasi dengan silan *Vinyltriethoxysilane* (VTES) pada laju dosis iradiasi 2 kGy/jam dan 6 kGy/jam dengan variasi dosis 10, 15, 25, 50, 75 dan 100 kGy. Grafik berwarna biru merupakan hasil persen cangkok dengan variasi dosis pada laju 2 kGy/jam. Grafik tersebut menunjukkan bahwa pencangkakan akrilonitril pada matriks zeolit meningkat seiring meningkatnya dosis iradiasi yang diserap, namun tingkat penyerapan melambat ketika dosis iradiasi melebihi dosis 25 kGy. Persen cangkok paling tinggi pada laju dosis 2 kGy/jam yaitu pada dosis 25 kGy, yaitu sebesar

67,44%. Sedangkan grafik berwarna merah merupakan hasil persen cangkok dengan variasi dosis pada laju 6 kGy/jam. Grafik tersebut menunjukkan bahwa persen cangkok paling tinggi terdapat pada dosis iradiasi 50 kGy, yaitu sebesar 62,94% dan penyerapan mulai melambat ketika melebihi dosis 50 kGy. Hasil optimum persen pencangkokan ini yaitu pada dosis 25 kGy/jam dengan laju dosis 2 kGy/jam.



Gambar 4. Hubungan Dosis Radiasi dan Persentase Pencangkokan pada Sample ZM-PAN dalam Media Pelarut Emulsi Air



Gambar 5. Hubungan Dosis Radiasi dan Persentase Pencangkokan pada Sample ZM-PAN Tanpa Media Pelarut

Derajat pencangkokan ZM-PAN tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini terjadi pada sistem yang menggunakan monomer akrilonitril tanpa media pelarut. Dosis optimal yang dihasilkan yaitu pada dosis 25 kGy dengan laju dosis 2 kGy/jam, menghasilkan persen pencangkokan sebesar 67,44%. Hasil derajat pencangkokan pada penelitian ini lebih besar 3 kali lipat jika dibandingkan dengan zeolit tanpa modifikasi silan, seperti penelitian yang

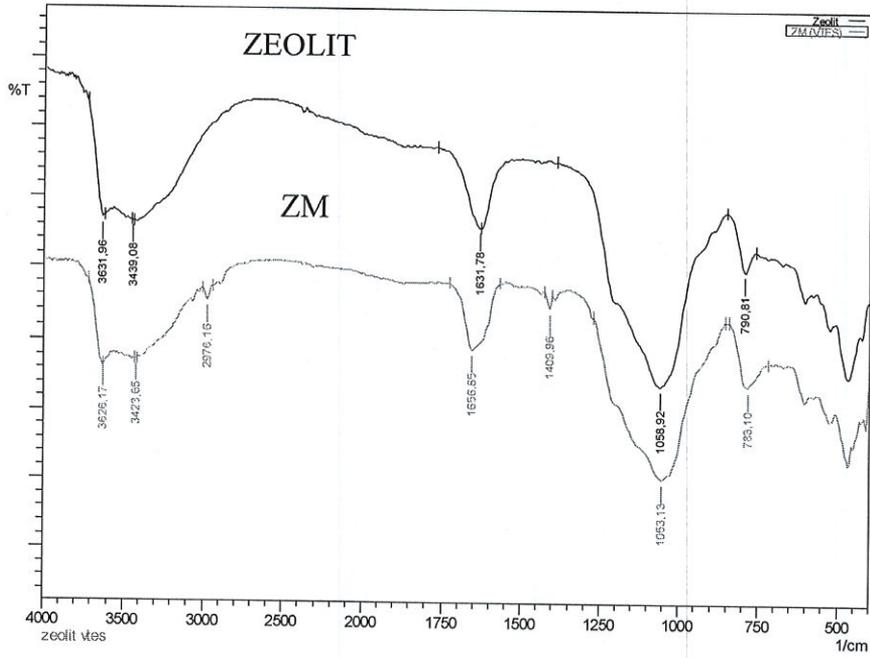
dilakukan Puspitasari (2017) dan Seftiani (2016) dengan dosis radiasi 100 kGy dengan laju dosis 2 kGy/jam. Persen pencangkakan yang didapatkan masing-masing yaitu sebesar 20% dan 20,31%. Dalam penelitian ini, penggunaan monomer akrilonitril dalam pelarut emulsi air ternyata menghasilkan derajat pencangkakan yang lebih kecil dibandingkan penggunaan monomer akrilonitril tanpa media pelarut. Pada sistem emulsi, monomer bercampur dengan air dalam campuran dengan adanya *emulsifier* yaitu surfaktan yang akan menurunkan tegangan permukaan masing-masing komponen. Pada sistem emulsi air, mayoritas monomer terdapat dalam misel dan sisanya ada di dalam tetesan monomer yang akan mempengaruhi laju pencangkakan. Laju pencangkakan akan berkurang karena laju difusi monomer dari misel lebih lambat dibandingkan laju difusi dari tetesan monomer. Emulsi yang stabil dengan sejumlah besar pengemulsi dapat menurunkan efisiensi pencangkakan, sehingga emulsi yang stabil tidak cocok untuk polimerisasi cangkok karena pencangkakan emulsi tergantung kepada kelarutan monomer di dalam air (Makuuchi dan Cheng, 2012). Selain itu, faktor hidrofilitas kemungkinan besar sangat mempengaruhi kebolehan terjadinya pencangkakan, dimana monomer akrilonitril yang tidak larut dalam air lebih mudah bereaksi dengan ZM yang bersifat hidrofobik.

Menurut Nasef dan Guven (2012), dosis iradiasi menjadi parameter penting dalam mempengaruhi jumlah radikal yang dihasilkan pada sistem pencangkakan. Kenaikkan dosis iradiasi sangat berpengaruh pada jumlah ikatan silangnya (*crosslink*). Kenaikkan dosis iradiasi akan meningkatkan jumlah radikal bebas yang dihasilkan sehingga probabilitas reaksi polimerisasi akan semakin tinggi (Swantomo *et al.*, 2008). Penurunan nilai persentase pencangkakan dengan dosis tinggi dapat disebabkan oleh reaksi rekombinasi radikal dan penghentian cepat pada pertumbuhan rantai-rantai yang dicangkakkan.

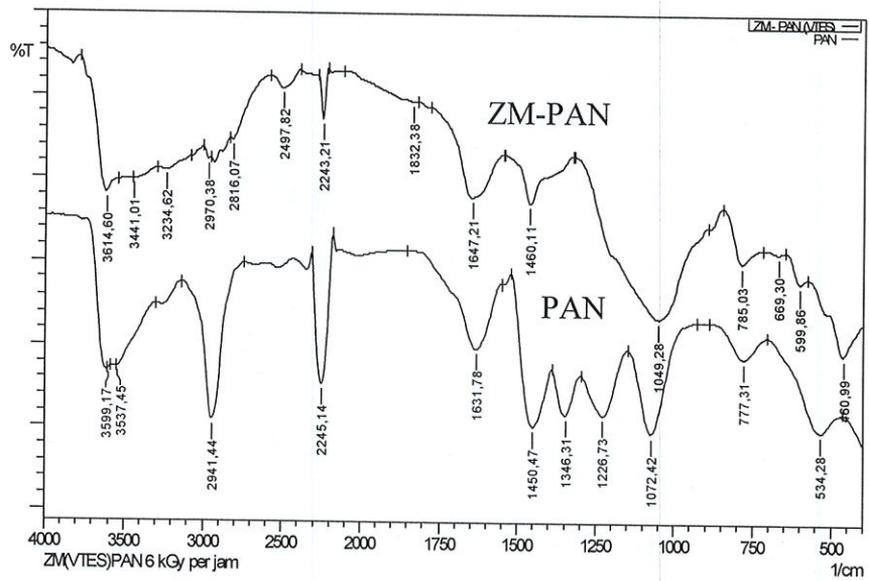
Selanjutnya setelah melalui proses amidoksimasi, densitas amidoksim ZM-AMO berada pada range 6,2413 - 8,1189 mmol/g.

Karakterisasi FTIR

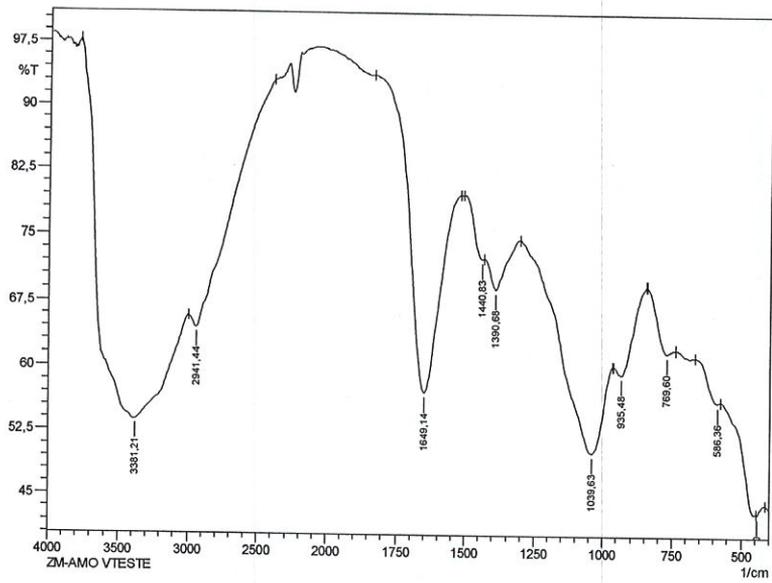
Penentuan gugus fungsi pada zeolit dan zeolit termodifikasi ditentukan dengan analisis serapan inframerah. Analisis ini berguna untuk memastikan terjadinya perubahan kimia pada suatu material. Analisis spektrometer FTIR dilakukan terhadap zeolit, ZM, PAN (PoliAkrilonitril), ZM-PAN dan ZM-Amidoksim



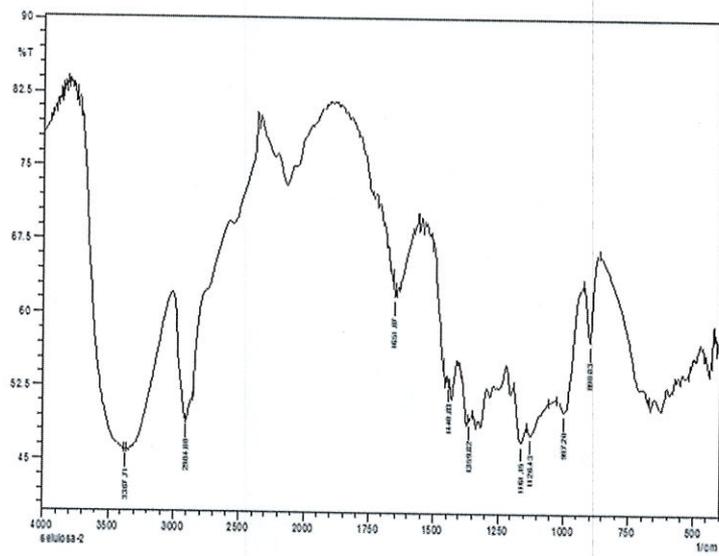
Gambar 2. Spektra FTIR Zeolit dan ZM (VTES)



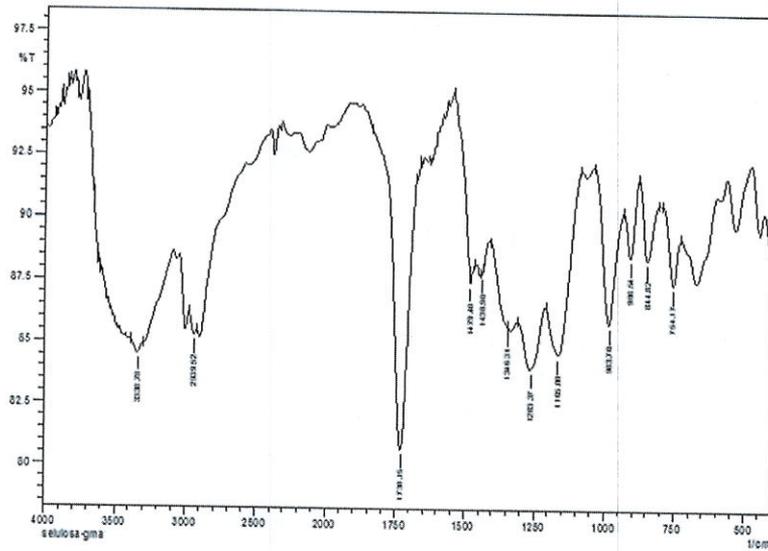
Gambar 7. Spektra FTIR ZM-PAN dan PAN



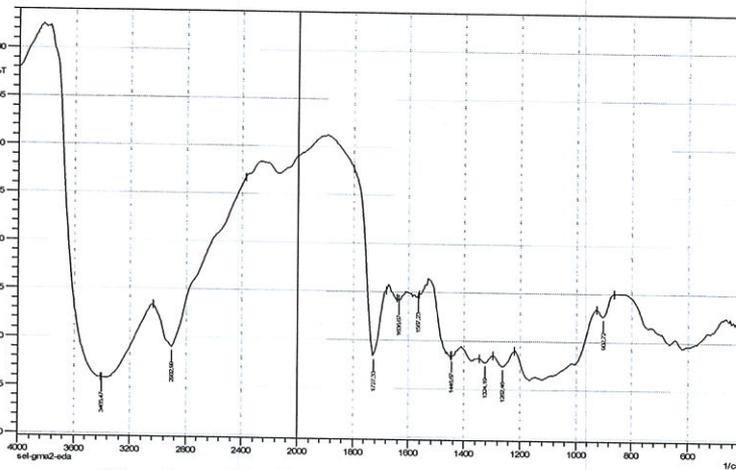
Gambar 3. Spektra FTIR ZM-AMO



Gambar 9. Spektrum FTIR Selulosa Murni



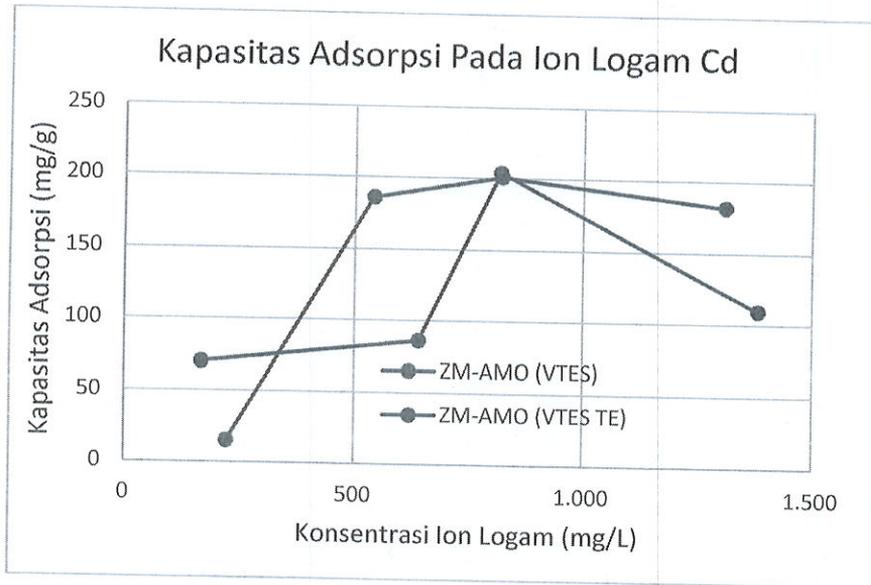
Gambar 10. Spektrum FTIR SG



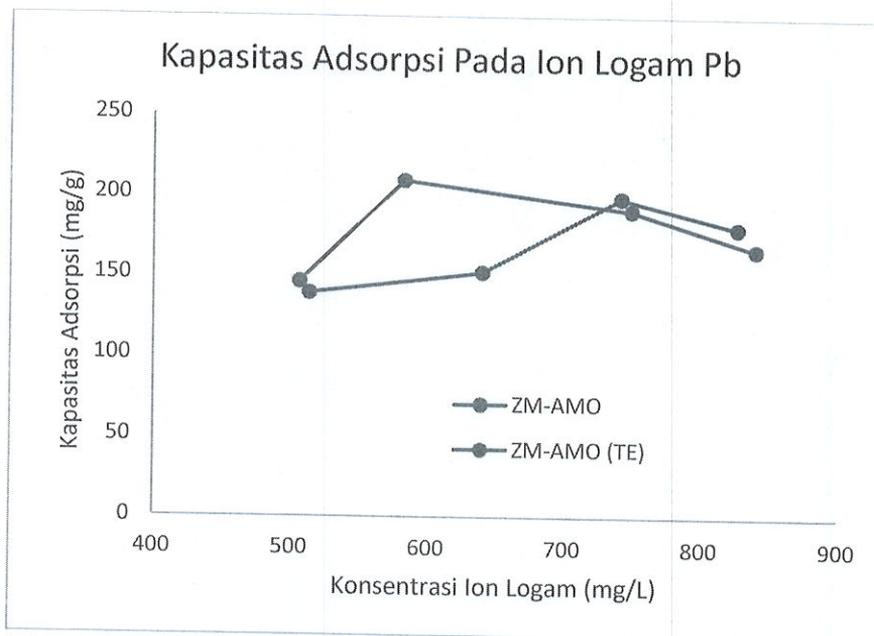
Gambar 11. Spektrum FTIR SG-EDA

Pengujian Kapasitas Adsorpsi

Pengaruh Konsentrasi awal ion Cd^{2+} dan Pb^{2+} terhadap kapasitas adsorpsi adsorben ZM-AMO

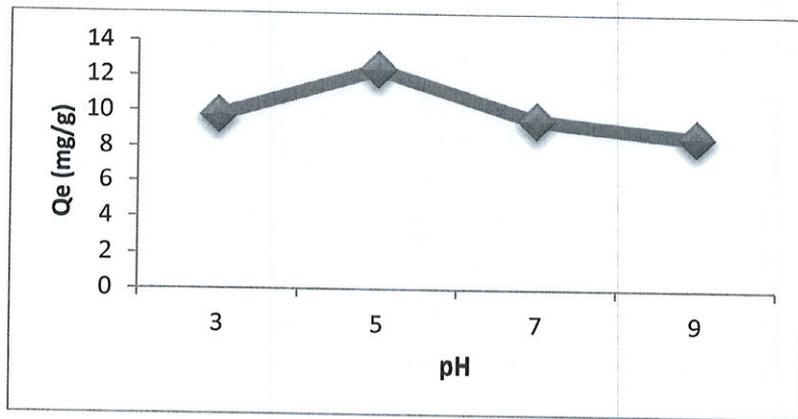


Gambar 12. Pengaruh Konsentrasi awal ion Cd^{2+} terhadap Kapasitas adsorpsi adsorben ZM-AMO

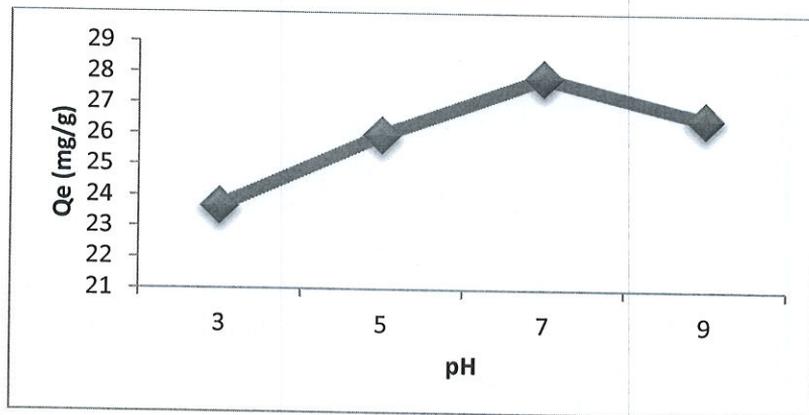


Gambar 13. Pengaruh Konsentrasi awal ion Pb^{2+} terhadap kapasitas adsorpsi adsorben ZM-AMO

Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi adsorben SG-EDA



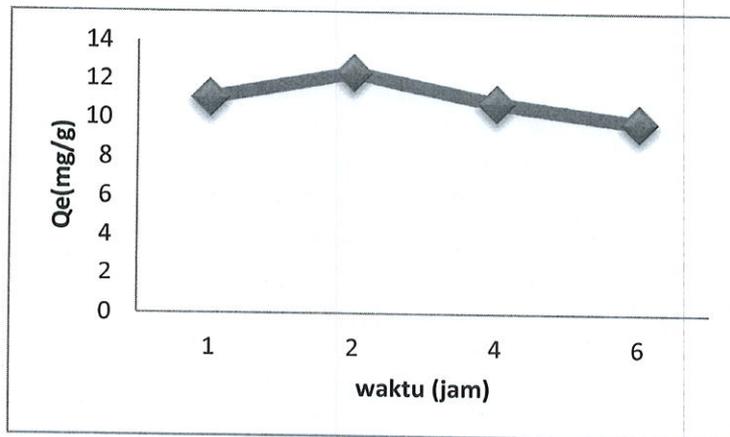
Gambar 14. Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi SG-EDA pada ion Fe^{2+}



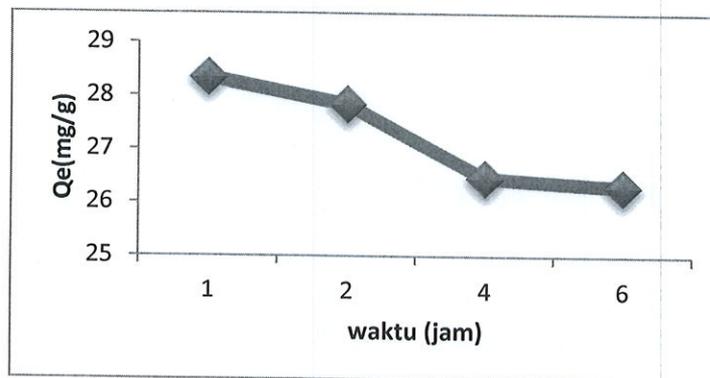
Gambar 15. Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi SG-EDA pada ion Hg^{2+}

Dari Gambar 14 dan 15 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pH maka semakin rendah ion logam yang dapat diserap oleh adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pH mempengaruhi kemampuan SG-EDA dalam mengadsorpsi ion merkuri dan besi. Hal tersebut dimungkinkan karena senyawa yang terbentuk stabil pada pH asam dan netral, sedangkan pada Fe^{2+} senyawa yang terbentuk stabil pada pH asam. Pada pH makin rendah, ion H^+ dalam larutan akan semakin mengganggu pengikatan antara amin dan ion, karena semakin banyak gugus amina pada etilendiamin yang mengikat ion H^+ dan menjadi bermuatan positif, sehingga amin makin sulit berikatan dengan ion logam Hg^{2+} .

Waktu kontak ion logam terhadap kapasitas adsorpsi



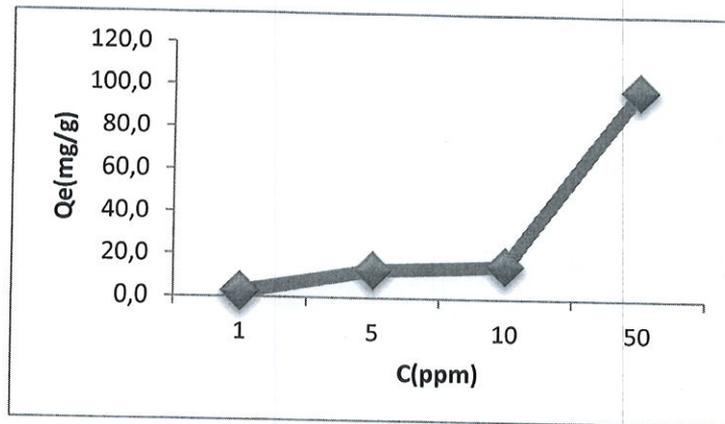
Gambar 16. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi SG-EDA pada ion Fe^{2+}



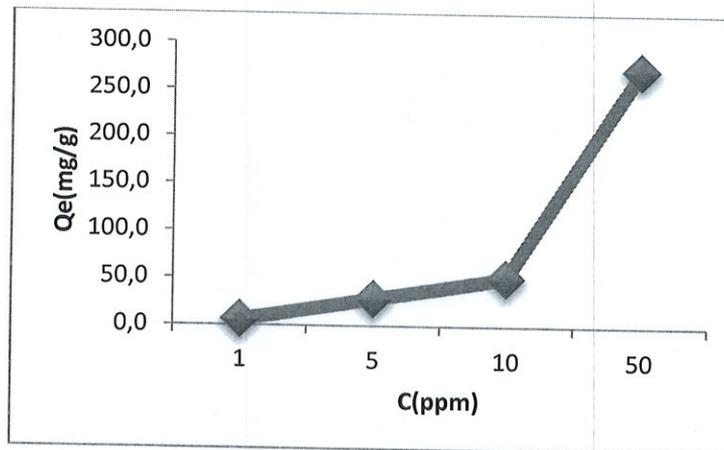
Gambar 17. Kapasitas adsorpsi (Sel-g-GMA-EDA) pada variasi waktu kontak ion Hg^{2+}

Gambar 16 dan 17 menunjukkan bahwa waktu optimum adsorpsi ion Fe^{2+} adalah pada waktu kontak selama 2 jam dengan kapasitas sebesar 12.38 mg/g sedangkan Hg^{2+} memiliki waktu kontak optimum 1 jam dengan kapasitas adsorpsi sebesar 28.14 mg/g

Konsentrasi ion logam terhadap kapasitas adsorpsi



Gambar 18. Pengaruh konsentrasi awal ion logam terhadap kapasitas adsorpsi SG-EDA pada ion Fe^{2+}



Gambar 19. Pengaruh konsentrasi awal ion logam terhadap kapasitas adsorpsi SG-EDA pada ion Hg^{2+}

Gambar 18 dan 19, pada Fe^{2+} dan Hg^{2+} terlihat bahwa meningkatnya konsentrasi ion logam pada sorbent disertai dengan peningkatan kapasitas adsorpsinya. Dari hasil uji aplikasi lanjut didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum dengan konsentrasi ion logam pada sorbent sebesar 3000 mg/L ion Fe^{2+} dan Hg^{2+} masing-masing, didapat kapasitas adsorpsi ion Fe^{2+} mencapai 3963,84 mg/g dan Hg^{2+} sebesar 17256,99 mg/g.

Aplikasi Oligokitosan pada Tanaman Lada

Pada tahun 2018 dilakukan penelitian lanjutan dari aplikasi kitosan pada tanaman lada di UPTD Proteksi tanaman Dinas Pertanian Provinsi Bangka Belitung. Pada tahun 2017 telah dilakukan pengamatan terhadap performa tanaman seperti LBSP (lingkar batang sulur panjang), JSP (jumlah sulur panjang), TSP (tinggi sulur panjang), JCP (jumlah cabang produksi),

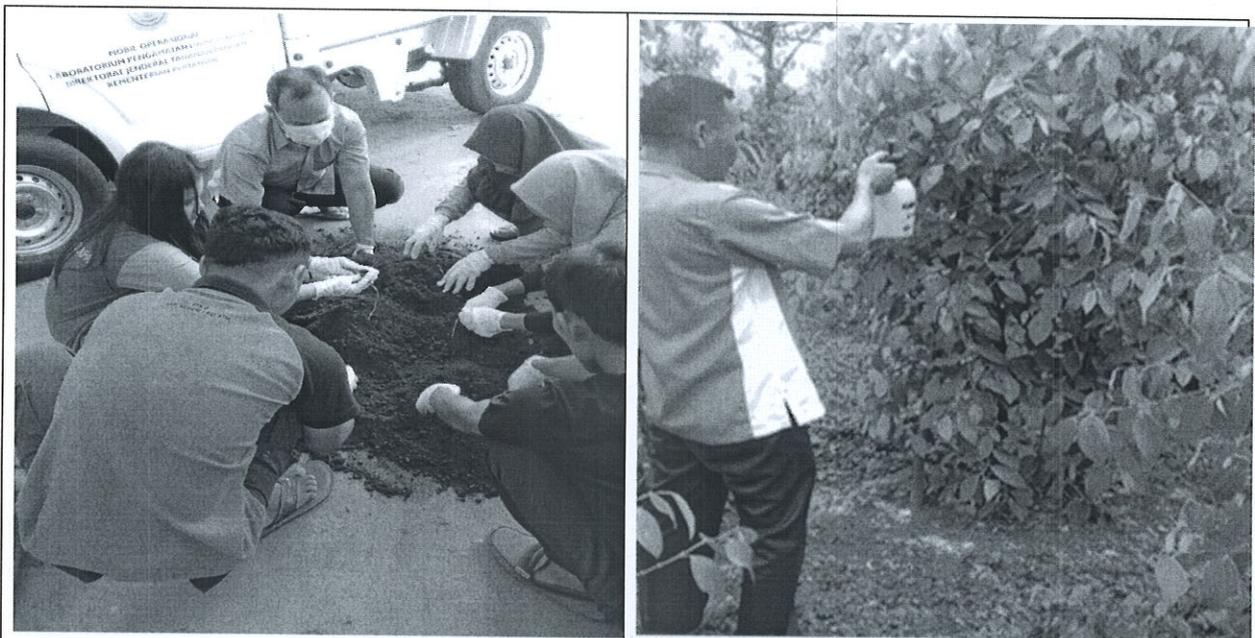
PCP (panjang cabang produksi) dan JR (jumlah ruas cabang produksi). Pada tahun 2018 dilakukan lanjutan pengamatan pada tanaman yang sama terhadap LBSP, JSP, TSP, morbiditas tanaman, serangan penyakit kuning dan jumlah produksi (panen perdana). hingga diharapkan tanaman lada sampai produksi. Gambar 1 menunjukkan persiapan pemberian pupuk bioorganik dan pemberian/penyemprotan oligo kitana pada tanaman. Oligokitosan diberikan setiap 15 hari sekali dengan cara disemprotkan pada seluruh daun dan batan hingga merata pada pagi hari karena pada pagi hari stomata daun akan membuka sehingga zat aktif oligokitosan akan masuk kedalam sel tanaman dan berfungsi sebagai pemercepat tumbuh, mencegah penyakit dan melindungi tanaman. Sedangkan pemberian pupuk bioorganik barbahan fasar trikoderma diberikan setiap 6 bulan dengan cara di tabur pada tanah dengan konsentrasi 500 mg atau 1000 mg per tanaman.

Tabel 2 memperlihatkan performa tanaman yaitu Lingkar batang sultur panjat Jumlah sultur panjat Tinggi Sultur Panjat. Terlihat bahwa pada tanaman berumur 1 tahun 3 bulan lingkar batang sultur panjat berkisar antara 2,7 sampai dengan 3,06 cm dimana lingkar batang terbesar pada tanaman yang diberi pupuk bioorganik 1000 mg/tanaman (K1B3) dan diikuti dengan tanaman yang diberi kitosan 200 ppm dan pupuk bioorganik 500 mg/tanaman (K4B2). Sedangkan lingkar batang terkecil ada pada tanaman yang diberi kitosan 50 ppm (K2B1). Jumlah sultur panjat rata-rata tanaman berkisar antara 1,7 sampai dengan 2,58 dengan jumlah sultur panjat tertinggi ada pada tanama) dan tanaman yang diberi kitosan 200 ppm (k4B1). Tinggi sultur panjat berkisar antara 117 sampai dengan 150,9 cm, dimana Tinggi Sultur Panjat tertinggi ada pada tanaman yang diberi kitosan 200 ppm (K4B1) yaitu 150,91 cm dan yang terendah pada tanaman kitosan 50 ppm (K2B1) yaitu 117 cm.

Tabel 3 memperlihatkan morbiditas, serang ulat dan penyakit kuning. Morbiditas tanaman per kelompok perlakuan pada umur tanaman 15 bulan (1 tahun 3 bulan) berkisar dari nol sampai 2 tanaman. Jumlah tanaman dengan kematian 2 tanaman yaitu pada kelompok tanaman kontrol (K1B1) dan tanaman yang diberi kitosan 50 ppm dan pupuk bioorganik 500 mg/tanaman (K2B2), sedangkan tanaman dengan kematian 1 tanaman yaitu kelompok K1B3, K2B1, K3B3 dan K4B3. Kelompok tanaman yang tahan kematian atau tidak ada tanaman yang mati yaitu pada kelompok K1B2, K2B3, K3B1, K3B2, K4B1, K4B2. Jumlah tanaman yang terkena ulat berkisar antara 2 sampai 6 tanaman dengan rincian sebabagia berikut: kelompok tanaman yang terkena ulat 6 batang, (K1B2, K2B3, K3B2, K4B3). 5 batang (K3B1), 4 batan (K2B1, K2B2, K4B1, K4B2), 3 batang (K1B1, K3B3) dan 2 batang (K1B3). Tanaman yang terkena penyakit kuning tertinggi terdapat pada kelompok tanaman K3B1

sedangkan kelompok tanaman yang tidak mengalami serangan penyakit kuning yaitu kelompok tanaman K4B3).

Pada tanaman lada berusia 19 bulan telah dilakukan panen lada pertama sebagaimana diperlihatkan pada tabel 4. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa produksi awal tertinggi pada kelompok pemberian kitosan 100 ppm dan pupuk bioorganik 1000 mg/tanaman (K3B3) yaitu 280 gram, lalu diikuti dengan K1B2 dan K2B2 dengan produksi 200 gram. Produksi terendah ada pada kelompok tanaman pemberian pupuk bios 500 gram per tanaman (K1B2). Sedangkan tanaman kontrol K1B1) produksi 90 mg



Gambar 1. Persiapan pemberian pupuk bioorganik pada tanaman lada (kiri) dan penyemprotan oligokitosan pada tanaman (kanan)

Tabel 2. Hasil pengamatan performance (lingkar batang, jumlah sulur panjat dan tinggi sulur panjat) tanaman lada pada pengamatan ke 12 umur tanaman 1 tahun 3 bulan HST

Kode Sampel	Lingkar batang sulur panjat (cm)	Jumlah sulur panjat (cm)	Tinggi Sulur Panjat (cm)
K1B1 (kontrol)	2,88	2,38	126,5
K1B2	2,86	2,17	126,9
K1B3	3,06	2,38	134,6

K2B1	2,39	1,81	117,6
K2B2	2,84	1,97	137,06
K2B3	2,99	2,58	135,88
K3B1	2,73	1,9	120,4
K3B2	2,64	1,75	119,28
K3B3	2,8	1,33	126,17
K4B1	2,99	2,58	150,91
K4B2	3,05	2,23	143,8
K4B3	3,03	2,35	149,62

Tabel 3. Morbiditas dan tingkat serangan penyakit pada tanaman lada

No Sampel	Jml Tanaman mati	Jumlah tanaman terkena ulat	tanaman terkena penyakit kuning
K1B1	2	3	7
K1B2	0	6	6
K1B3	1	2	4
K2B1	1	4	4
K2B2	2	4	2
K2B3	0	6	3
K3B1	0	5	10
K3B2	0	6	7
K3B3	1	3	9
K4B1	0	4	5
K4B2	0	4	2
K4B3	1	6	0

Tabel 4. Produksi lada pada panen pertama (awal) masing-masing kelompok pada usia tanaman 19 bulan (1 tahun 7 bulan)

Kelompok tanaman	Panen pertama (gram)
K1B1	90
K1B2	20
K1B3	200
K2B1	25
K2B2	200
K2B3	55
K3B1	50
K3B2	135
K3B3	280
K4B1	70
K4B2	170
K4B3	40

KESIMPULAN

1. Modifikasi zeolit dengan senyawa silan (ZM) sudah berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan perubahan sifat zeolit dari hidrofilik menjadi hidrofobik.
2. Karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa proses grafting akrilonitril pada ZM dan juga grafting glisidil metakrilat pada selulosa serta proses fungsionalisasinya berhasil dilakukan dengan adanya perubahan gugus fungsi.
3. Persen pencangkokkan akrilonitril pada zeolit tertinggi sebesar 67,44% diperoleh pada dosis 25 kGy dengan laju dosis 2 kGy/j pada sampel yang tidak menggunakan pelarut.
4. Uji kinerja ZM-AMO sebagai adsorben pada ion logam Cd^{2+} dan Pb^{2+} menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 200 mg/g pada konsentrasi 600 ppm baik terhadap ion logam Cd^{2+} maupun Pb^{2+} .

5. Kondisi optimal kinerja adsorben SG-EDA yang diperoleh yaitu pada pH 5 dan 7 dan waktu kontak 2 jam dan 1 jam, berturut-turut untuk ion Fe^{2+} dan Hg^{2+} . Kapasitas adsorpsi terhadap ion Fe^{2+} dan Hg^{2+} adalah 3963 dan 17257 mg/g pada konsentrasi awal 3000 ppm.
6. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan secara umum bahwa oligokitosan dapat meningkatkan performance tanaman lada baik lingkaran batang, jumlah sulur panjat dan tinggi sulur panjat. Selain itu pemberian oligokitosan dapat memperbaiki mortalitas dan mengurangi serangan penyakit kuning dan produksi lada khususnya pada panen perdana usia 19 bulan

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharya and B. N. Misra (2004). Grafting: a versatile means to modify polymers: Techniques, factors and applications. *Prog. Polym. Sci.*, vol. 29, p. 767-814.
- El-Khouly, A. S., Takahashi, Y., Saafan, A. A., Kenawy, E., dan Hafiz, Y.A. (2011): Study of heavy metal ion absorbance by amidoxime group introduced to cellulose-graft-polyacrylonitrile, *Journal of Applied Polymer Science*, **120**, 866–873.
- Enzel, P., dan Bein, T. (1992): Poly(acrylonitrile) chains in zeolite channels: polymerization and pyrolysis, *Chem. Mater.*, **4**, 819-824.
- Faghihian, H., Irvani, M., Moayed, M., dan Ghannadi-Maragheh, M. (2013): A novel polyacrylonitrile–zeolite nanocomposite to clean Cs and Sr from radioactive waste, *Environ. Chem. Lett.*, **11**, 277–282.
- Gao, B., Gao, Y., dan Li, Y. (2010): Preparation and chelation adsorption property of composite chelating material poly(amidoxime)/ SiO_2 towards heavy metal ions, *Chemical Engineering Journal*, **158**, 542-549.
- Gao, Q., Hu, J., Li, R., Xing, Z., Xu, Lu., Wang, M., Guo, X., dan Wu, G.(2016): Radiation synthesis of a new amidoximated UHMWPE fibrous adsorbent with high adsorption selectivity for uranium over vanadium in simulated seawater.
- Gunay, A., Arslankaya, E., dan Tosun, I. (2007): Lead removal from aqueous solution by natural and pretreated clinoptilolite: Adsorption equilibrium and kinetics, *Journal Hazardous Materials*, **146**, 362-371.
- M. Suhartini, J. Ginting, S Sudirman, A.D. Putri, Z.R. Mubarak (2018). Study of Cellulose-N,N'-Methylenebisacrylamide-Acrylic Acid as Pb^{2+} Ion Adsorbent, *Atom Indonesia* (44) 3, 145 153
- T. Puspitasari, dkk. (2009), “Proses Pembuatan Oligokitosan sebagai Zat Pengatur Tumbuh Organik dengan Teknologi Radiasi.” PatentIDP000034713.
- T. Puspitasari, Oktaviani, D. S. Pangerteni, E. Nurfilah, D. Darwis (2015), Study of Metal Ions Removal from Aqueous Solution by Using Radiation Crosslinked Chitosan co Poly(Acrylamide) - based Adsorbent. *Macromolecular Symposia*, 353 Issue 1 pp.168-177. (<https://doi.org/10.1002/masy.201550323>)
- T. Puspitasari. (2017), Sintesis dan Karakterisasi Material Hibrida Zeolit-Poliakrilonitril Teramidoksimasi (Z-AMO) Dengan Radiasi- γ dan Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Pb^{2+} , Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.

- T. Puspitasari, G.T.M.Kadja, C.L.Radiman, D.Darwis, R.R.Mukti (2018), Two-step preparation of amidoxime-functionalized natural zeolites hybrids for the removal of Pb^{2+} ions in aqueous environment, *Materials Chemistry and Physics*, (216) pp 197-205