



Kopolimerisasi Iradiasi Kitosan-Polivinyl Alkohol-Akrilamida sebagai Bahan Pelapis Pupuk

Gatot Trimulyadi Rekso

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta-Selatan

E-mail: gatot2811@yahoo.com

Abstract

Irradiation Copolymerization Of Chitosan- Polyvinyl Alcohol-Acrylamide For Coating Of Fertilizer. Copolymer was made with fixed amount of chitosan and the volume of polyvinyl alcohol (PVA) 10% w/v and acrylamide 3% w/v was varied. The variation of irradiation dose are 5, 10, 15, and 20 kGy. In this study was obtained the best formulation to be used as material for the modification of NPK fertilizers is contain of 5 % of chitosan, 40% of PVA (10% w/v), 55% of acrylamide (3% w/v). Measurement of slow release properties was done by absorption-desorption method. The results of FTIR characterization, the formation of pores was shown by the results of SEM characterization. Observation and testing the yield of percent gel fraction, swelling ratio, and percent release of phosphate in the polymerization was obtained respectively 50.2%, 320.5 %, 18.3%. In this study shows that the properties of copolymer is influenced by the composition of the PVA and acrylamide and irradiation dose.

Keywords: chitosan, copolymerization, irradiation, coating, fertilizer

Pendahuluan

Salah satu upaya meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan adalah dengan memodifikasinya menjadi pupuk lepas lambat/ *slow release fertilizer* (SRF) dengan bahan dasar yang mendukung dan ramah lingkungan. Masalah utama penggunaan pupuk kimia seperti NPK pada lahan pertanian adalah efisiensi yang rendah karena kelarutannya yang tinggi dan hilang akibat larut terbawa oleh air, penguapan dan proses denitrifikasi terhadap pupuk itu sendiri.

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan teknik iradiasi dengan sinar gamma yang bertujuan untuk pembentukan ikatan silang bahan polimer yang digunakan. Teknologi iradiasi untuk memodifikasi bahan polimer untuk keperluan industri telah banyak dikembangkan oleh negara maju seperti Jepang, Amerika dan Jerman. Hasilnya menunjukkan dengan penggunaan iradiasi dapat menyingkat tahapan proses serta pengurangan bahan kimia sehingga lebih ekonomis dan mengurangi pencemaran bahan kimia terhadap lingkungan. Selain itu daya tembus radiasi relatif tinggi maka pengikatan silang terbentuk secara merata, sehingga akan diperoleh derajat polimerisasi yang homogeny [1].

Banyak metode yang telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, salah satunya dengan mengembangkan material yang dapat mengontrol pemakaian pupuk oleh tanaman, dikenal dengan *controlled-release fertilizer* (CRF) agen. CRF merupakan salah satu metode untuk mengurangi tingkat kehilangan pupuk dari tanah akibat pencucian oleh air hujan atau air irigasi. Salah satu agen yang dapat digunakan untuk CRF ini adalah hidrogel bahan polimer seperti kitosan, polivinyl alkohol dan akrilamida [1,2]. Dengan menggunakan hidrogel polimer, pelepasan air dan nutrisi dapat diperlambat atau bahkan dapat dikontrol, sehingga tanaman dapat menyerap nutrisi dan air lebih banyak tanpa terbuang percuma [3,4]. Dengan demikian, hidrogel controlled release fertilizer dapat meningkatkan efisiensi aplikasi unsur hara, meningkatkan pertumbuhan tanaman sekaligus mengurangi dampak lingkungan ekologi [5].

Oleh karena itu akan dilakukan formulasi pembuatan hidrogel dengan polimer alam yang memiliki 3 fungsi (multi fungsi) yaitu sebagai *slow release*, penginduksi pertumbuhan tanaman dan sebagai *water absorbent*. Metode penelitian yang akan dilakukan adalah pupuk kimia di ubah menjadi butiran yang lebih besar dengan melapisinya dengan gel yang diformulasi dari bahan polimer kitosan-PVA-akrilamida dan oligo kitosan. Penggunaan kitosan dalam bidang pertanian sudah dikenal sebagai bahan penginduksi pertumbuhan dan anti bacteria serta mampu mengendalikan kecepatan pelepasan unsur unsur nutrient pupuk yang mudah hilang [6].

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan gel, sintesis suatu polimerisasi kitosan- polivinyl alkohol (PVA, akrilamida (AAm), dan oligo kitosan sebagai sumber bahan alam. Polimerisasi hasil sintesis ini dapat dimanfaatkan sebagai material untuk modifikasi pupuk NPK berdasarkan sifat pengembangan dan pelepasan lambatnya. Sifat

pengembangan ini nantinya akan membuat pupuk menyerap air dan tetap berada di tanah, sedangkan pelepasan lambat membuat pupuk mengeluarkan zat nutrisi sesuai ketika dibutuhkan tanaman.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah peralatan gelas, oven, spektrofotometer sinar tampak, *hot plate*, *Fourier transform infrared* (FT-IR), *Scanning electron microscopy* (SEM), *Thermo Gravimetry Analysis* (TGA).

Bahan yang digunakan adalah kitosan, polivinil alkohol, akrilamida, kalium dihidrogen fosfat, natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat, asam nitrat, ammonium vanadat, ammonium molibdat. Sementara bahan pelarutnya adalah aquadest. Kemudian untuk pengujian pelepasan lambat fosfat, digunakan pupuk fosfat jenis NPK (10:55:10)..

Pembuatan Kopolimer kitosan-PVA-Aam-kitosan

Petama-tama, kitosan ditambahkan ke dalam larutan akrilamida sedikit demi sedikit sambil diaduk. Kemudian campuran larutan tersebut ditambahkan larutan polivinil alkohol (PVA), akrilamida dan kitosan diaduk dan dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam. Adapun variasi komposisi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Komposisi Sampel Polimer

Formula	Kitosan (%)	Polivinil alkohol-10% (%)	Akrilamida-3% (%)
F-1	5	80	15
F-2	5	70	25
F-3	5	60	35
F-4	5	50	45
F-5	5	40	55

Iradiasi Kopolimer dengan Sinar Gamma

Hasil campuran polimer disinari sinar gamma dari ^{60}Co dalam media udara pada suhu ruang agar terjadi polimerisasi yang diinginkan. Dalam proses iradiasi ini, dilakukan variasi dosis penyinaran terhadap sampel, yaitu 5, 10, 15, dan 20 kGy. Hal ini dilakukan untuk memperoleh sifat swelling dan lepas lambat yang pas pada modifikasi pupuk NPK. Polimerisasi hasil iradiasi sinar gamma, dilanjutkan dengan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam.

Penentuan Fraksi Gel

Kopolimer kering sebanyak 0,2 gram dimasukkan ke dalam wadah yang berisi air aquadest sebanyak 50 mL. Kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama dua jam sambil diaduk. Setelah itu larutan didinginkan dan disaring dengan menggunakan kertas saring yang telah diketahui bobotnya. Pastikan seluruh padatan telah tersaring dengan mencuci wadah menggunakan aquadest.

$$\% \text{ Fraksi gel} = \frac{\text{Massa gel sisa}}{\text{Massa sampel}} \times 100\% \quad (1)$$

Karakterisasi Polimerisasi Kitosan-PVA-AAm-kitosan

Kopolimer kitosan-polivinil alkohol-akrilamida yang diperoleh dianalisis gugus fungsinya dengan Fourier Transform InfraRed (FTIR) pada bilangan gelombang 4000 samkitosan 400 cm^{-1} menggunakan serbuk KBr. Untuk memastikan morfologi permukaan polimer yang terbentuk, polimer dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 500 kali.

Kapasitas Pengembangan (Swelling)

Kopolimer kering (0,1 g) dalam kasa kawat dicelupkan kedalam akuades, pada temperatur kamar sehingga mencakkitosan kesetimbangan. Gel dipisahkan dari air yang tidak terserap. Kapasitas swelling (S_e) dihitung dengan persamaan berikut:

$$S_e = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

m_1 adalah massa kopolimer kering, m_2 adalah massa polimer setelah swelling air.

Penentuan Pelepasan Lambat unsur Posfat -Pupuk NPK

Polimer yang telah ditimbang sebanyak 0.1 g dan dikontakkan dengan larutan pupuk diukur sifat pelepasan lambatnya dalam air. Setiap jangka waktu tertentu, air rendaman dipipet sebanyak 10 mL dan kemudian ditambahkan kembali 10 mL aquadest ke dalam wadah rendaman. Untuk melihat sifat pelepasan lambat dari polimer tersebut, perendaman dilakukan dengan jangka waktu 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 300 dan 360 menit. Air rendaman

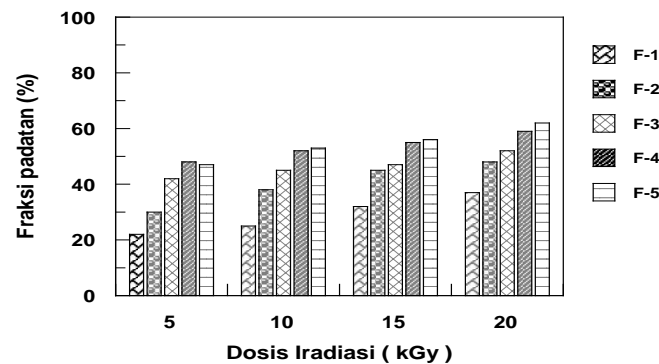
tersebut di ukur kadar fosfatnya dengan metode molibdat-vanadat pada spektrofotometer UV-VIS. Kemudian hasil pengukuran kadar fosfat pada air dibandingkan dengan waktu perendaman. Dilakukan hal yang sama untuk pelepasan di larutan pH 3 dan pH 10. Jika berhasil, maka akan terlihat lambatnya pelepasan fosfat dari polimer tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Fraksi Gel

Fraksi gel merupakan salah satu parameter untuk mengetahui fraksi jumlah bahan awal (monomer atau polimer) yang berubah menjadi gel. Pada polimerisasi semi-gel dengan menggunakan teknik iradiasi, besaran fraksi gel dapat menunjukkan nilai efisiensi proses dalam polimerisasi yang bergantung pada kepekaan bahan terhadap radiasi tersebut. Dengan bertambah tingginya kepekaan bahan (monomer atau polimer) terhadap radiasi maka bertambah tinggi pula nilai efisiensinya [8]. Nilai fraksi gel dapat dijadikan sebagai parameter untuk menentukan jumlah ikatan silang dan polimer yang terbentuk pada polimerisasi semi-gel. Namun sebenarnya, dalam polimerisasi tersebut mungkin saja terjadi ikatan kovalen lain antara PVA dengan akrilamida atau juga terjadinya ikatan hidrogen diantara keduanya [9].

Pada Gambar 1. Menunjukkan bahwa bertambahnya dosis iradiasi yang diberikan terhadap sampel maka akan bertambah pula besar nilai fraksi gel nya. Dengan bertambahnya nilai fraksi gel tersebut, terlihat bahwa fasa yang terpolimerisasi yang terbentuk semakin memadat. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan bertambah banyaknya ikatan silang yang terbentuk pada fasa yang terpolimerisasi mengakibatkan kerapatan struktur ikatan silang semakin tinggi dan fasa menjadi padat. Ikatan silang yang terjadi pada kopolimer ini sifatnya lebih kuat dibandingkan dengan ikatan yang terjadi pada homopolimer.



Gambar 1. Pengaruh Dosis Radiasi terhadap Nilai Fraksi gel pada Berbagai Variasi Formulasi.

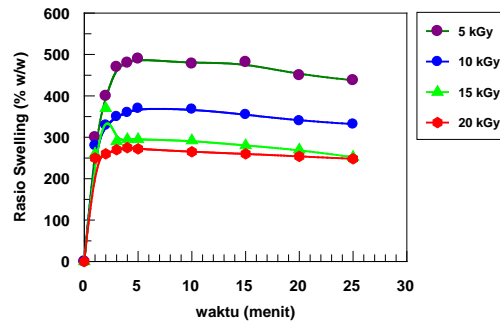
Formulasi yang nilai fraksi gel nya paling tinggi adalah formula no V dengan komposisi kitosan 5%, 40% polivinil alkohol (10%), 55% akrilamida (3%).

Kapasitas Swelling

Pengembangan (swelling) merupakan salah satu sifat fisika yang khas pada gel polimer, yang berkaitan dengan kemampuan dalam menyerap air. Kemampuan gel ini dalam menyerap air dipengaruhi oleh gugus fungsi bebas yang terdapat di dalam hidrogel tersebut, diantaranya adalah -OH, -NH₂, dan -SO₃H serta dapat juga dipengaruhi oleh lingkungannya, misalnya terhadap perubahan pH, suhu, dan arus listrik. Sifat swelling yang dimiliki oleh gel polimer ini dapat dijadikan sebagai penentuan kemampuan bengkak dari kopolimer tersebut, yaitu berdasarkan nilai rasio swelling hingga batas maksimum gel membengkak di waktu perendaman tertentu [8]. Nilai rasio swelling ini diperoleh melalui perbandingan massa antara gel yang sudah menyerap air akibat perendaman dengan gel kering.

Hasil pengukuran sifat swelling ditunjukkan pada Gambar 2. Rasio swelling untuk sampel 5 dengan dosis radiasi 5 kGy cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan 10, 15, dan 20 kGy. Selain itu juga terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan oleh seluruh variasi sampel 5 kGy untuk mencapainya kapasitas pengembangan maksimum lebih cepat dibandingkan dengan seluruh variasi sampel 10, 15, dan 20 kGy.

Hal tersebut diduga karena pada dosis 5 kGy jumlah pori yang terbentuk masih sangat sedikit sehingga ruang pori untuk membesar masih cukup luas. Hal ini berkorelasi dengan nilai rasio swelling pada dosis 10, 15, dan 20 kGy, yaitu jumlah pori yang bertambah banyak sehingga waktu yang dibutuhkan oleh bahan polimer untuk mencapai waktu maksimum perendaman lebih lama dibandingkan dengan hidrogel dosis 5 kGy. Namun, jumlah pori yang bertambah banyak berakibat pada kerapatan ruang yang bertambah tinggi jika dibandingkan dengan hidrogel dosis 5 kGy sehingga kemampuan pori untuk membesar menjadi lebih kecil [7].

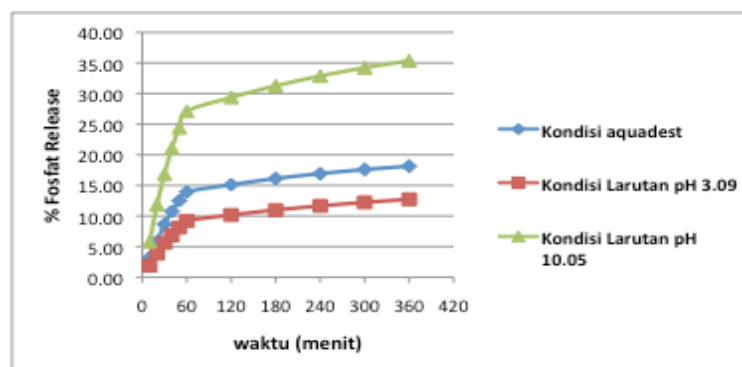


Gambar 2. Kurva Rasio Swelling terhadap Waktu Sampel V di Berbagai Dosis Radiasi

Selain itu juga perbedaan nilai rasio swelling antara kopolimer dosis 5 kGy dengan 10, dan 15 kGy dapat disebabkan oleh polimer tersebut memiliki ukuran pori yang berbeda. Dalam hal ini diduga pada dosis 5 kGy terbentuk polimer dengan ukuran pori yang lebih besar dibandingkan dengan polimer pada dosis radiasi 10 dan 15 kGy. Adapun mekanisme yang terjadi pada saat polimer menyerap air adalah, mula-mula air akan menghidrasi gugus fungsi polar yang terdapat pada jaringan kopolimer ($-\text{NH}_2$ dan $-\text{OH}$) dan kemudian membentuk ikatan hidrogen, air ini disebut dengan air terikat. Setelah itu kopolimer akan mengembang sehingga gugus hidrofobik mulai terekspos dan mengalami hidrasi. Selain itu, air juga dapat mengisi pori hingga jenuh, yang disebut dengan air bebas.

Slow Release Fosfat pada NPK

Pengujian sifat *slow release* (pelepasan lambat) pada polimer sampel V dengan dosis iradiasi 15 kGy dilakukan dengan metode absorpsi-desorpsi. Jumlah fosfat yang terserap dan keluar pada kopolimer, diukur secara kimiawi dengan menggunakan metode molibdat-vanadat [10]. Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian sifat slow release fosfat pada NPK.

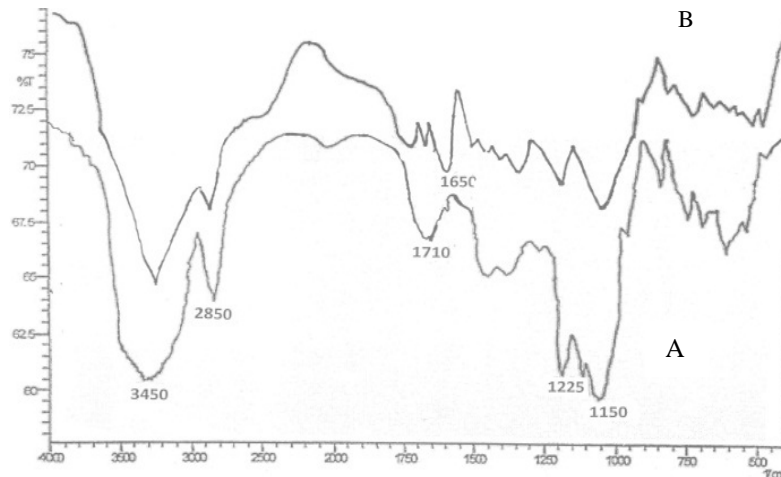


Gambar 3. Kurva Pelepasan Lambat Fosfat Sampel V pada dosis 15 kGy pada Kondisi Larutan pH 3,09, Aquadest (pH 6,6), dan pH 10,05.

Pada hasil pengujian untuk sampel V terlihat bahwa bertambah sedikitnya jumlah H^+ dalam larutan maka jumlah fosfat yang terdesorpsi bertambah banyak. Hal ini diduga karena pada sampel V dengan kondisi jumlah H^+ yang tinggi dalam larutan dan kemudian kontak dengan kopolimer, akan membuat kopolimer menjadi lebih elektropositif karena berinteraksi dengan gugus fungsi $-\text{NH}_2$ dan $-\text{OH}$ dalam kopolimer, membentuk $-\text{NH}_3^+$ dan $-\text{OH}_2^+$ [11,12]. Peristiwa terjadinya hal tersebut dikenal dengan istilah proses protonasi. Ion positif yang muncul dari $-\text{NH}_3^+$ dan $-\text{OH}_2^+$ tarik menarik dengan anion PO_4^{3-} sehingga akan tertahan didalam kopolimer. Kemudian untuk proses desorpsi fosfat pada aquadest hampir seperti pada larutan pH 3,09 (H^+ tinggi). Hal ini diduga karena interaksi ionik anion fosfat dengan $-\text{NH}_3^+$ lebih sedikit akibat jumlah H^+ hanya berasal dari proses disosiasi alami aquadest saja. Selain itu, interaksi desorpsi fosfat dalam kopolimer lebih didominasi oleh interaksi inter dan intra molekular serta ikatan hidrogen antara gugus fungsi di dalam kopolimer dengan anion fosfat. Pada larutan pH 10,05 diduga ion OH^- tersebut akan mengambil atom H pada gugus $-\text{NH}_2$ sehingga akan menghasilkan gugus $-\text{NH}^-$ akibat kelebihan elektron. Kopolimer yang bermuatan negatif tersebut akan saling tolak menolak dengan anion fosfat sehingga jumlah fosfat yang terdesorpsi dari kopolimer lebih banyak.

Karakterisasi polimer

Pada Gambar 4. Menunjukkan adanya perbedaan spektra FTIR antara kopolimer sebelum dan setelah radiasi pada sampel V.



Gambar 4. Spektra IR Formula V pada a) 0 kGy dan b) pada 15 kGy

Adanya spektra yang menyempit dari $3400 - 3654 \text{ cm}^{-1}$ yang diduga akibat berkurangnya gugus fungsi $-\text{OH}$ bebas akibat terkopolimerisasi. Dalam hal ini menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang terjadi antara N-H yang berasal dari akrilamida dengan $-\text{OH}$ yang berasal dari kitosan dan juga PVA satu sama lain. Selain itu dapat juga menunjukkan $-\text{OH}$ stretching dari ikatan hidrogen intra dan intermolekular antara kitosan dengan PVA atau juga dari $-\text{NH}$ bebas pada akrilamida dan $-\text{OH}$ bebas pada PVA dan kitosan [13]. Kemudian terjadi pergeseran bilangan gelombang $1611,59 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1626,06 \text{ cm}^{-1}$ dan naiknya intensitas pada bilangan gelombang $1626,06 \text{ cm}^{-1}$. Pergeseran yang terjadi tersebut mungkin terjadi akibat adanya inter dan intra molekular antara PVA dengan akrilamida melalui ikatan hidrogen intermolekular.

Dengan bertambah banyaknya interaksi tersebut, maka akan terlihat spektra yang bertambah kuat intensitasnya dan juga tajam [7]. Pada bilangan gelombang $1699,36 \text{ cm}^{-1}$ terlihat pergeseran dan bentuk puncak yang semakin kuat dan tajam jika dibandingkan dengan bilangan gelombang $1688,75 \text{ cm}^{-1}$. Pergeseran dan semakin tajamnya bentuk puncak tersebut diduga karena adanya ikatan $\text{C}=\text{O}$ uluran dari kitosan yang muncul selain dari akrilamida pada kopolimer. Pada bilangan gelombang $1699,36 \text{ cm}^{-1}$, $1626,06 \text{ cm}^{-1}$, dan $1354,09 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya $\text{C}=\text{O}$ uluran, N-H tekuk, dan C-N uluran secara berturut-turut dan mengindikasikan gugus $-\text{CONH}_2$ [13]. Pada spektrum di bilangan gelombang sekitar 900 cm^{-1} dan 1050 cm^{-1} terlihat adanya pengurangan antara yang sebelum radiasi dengan sesudah radiasi. Hal tersebut diduga karena pada C-O-C dan C-OH terjadi kopolimerisasi dengan monomer atau polimer dalam campuran bahan. Dengan demikian, dapat diindikasikan bahwa kopolimer yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan homopolimernya dan hal ini sesuai dengan tingginya nilai % fraksi gel pada kopolimer sampel I.

Kesimpulan

Kesimpulan Pada penelitian ini telah berhasil mensintesis suatu material polimer kitosan-polivinil alkohol-akrilamida dengan menggunakan teknik iradiasi gamma. Polimer yang paling baik untuk digunakan sebagai material pembuatan pupuk NPK slow release adalah sampel V dengan komposisi 5% kitosan, 40% PVA (10%) : 55% Aam (3%) dan dosis iradiasi yang digunakan adalah 15 kGy. Hal ini didukung oleh hasil pengujian sifat pengembangan dan pelepasan lambatnya serta hasil karakterisasi menggunakan SEM dan FTIR. Pada kopolimer sampel V terlihat adanya pengaruh pH terhadap nilai persen pelepasan fosfat dan waktu perendaman, yang ditandai dengan bertambah sedikitnya jumlah H^+ pada larutan (asam ke basa), maka nilai persen pelepasan fosfat bertambah besar.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kami ucapkan kepada rekan-rekan dari Bidang Proses Radiasi dan di Instalasi Fasilitas Iradiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi yang banyak memberikan kontribusi dan dukungan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.



Daftar Pustaka

- Sekine, A., Seko, N., Tamada, M., Suzuki, Y. "Biodegradable metal adsorbent synthesized by graft polymerization onto nonwoven cotton fabric". *Radiat. Phys. Chem.*, vol.79, pp.16–21. Jun. 2010.
- Desmet, G., Takacs, E., Wojnarovits, L., Borsa, J. "Cellulose functionalization via high-energy irradiation-initiated grafting of glycidyl methacrylate and cyclodextrin immobilization". *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 80, pp.1358–1362. Feb. 2011.
- Chiellini, Emo et, al. 2003. Biodegradation of Poly (Vinyl Alcohol) Based Materials. Depok: www.sciencedirect.com diakses pada Selasa 28 April 2015.
- Gatot Trinulyadi Rekso, Pengaruh penambahan akril amida terhadap fraksi padatan dan nilai swelling campuran CMC-Starch-Chitosan sebagai bahan pelapis pupuk, *Prosiding Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia, Riset Kimia Terapan untuk Mendukung Daya Saing Bangsa melalui Pembangunan Berbasis Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Volume 3*, Solo, 26 Juli 2013
- Gatot Trinulyadi Rekso, Kopolimerisasi radiasi kitosan tapioca dan asam akrilat sebagai bahan penyerap air. *Prosiding, Seminar Nasional 52, Temu-Ilmiah Jaringan kerjasama Kimia Indonesia, Seminar Nasional XXII, Kimia dalam Industri dan Lingkungan, "Perkembangan Mutakhir dalam Teori, Instrumentasi dan Penerapan"*, Yogyakarta, 21 November 2013
- Gatot Trinulyadi Rekso, Pengujian mutu formulasi oligo khitosan sebagai bahan pemercepat pertumbuhan tanaman cabe serta analisa usaha, *Prosiding, Seminar Nasional 44, Temu-Ilmiah Jaringan kerjasama Kimia Indonesia, Kimia Dalam Pembangunan, Seminar Nasional XIII, "Perkembangan Mutakhir dalam Ilmu dan Teknologi Kimia di Indonesia"*, Yogyakarta, 15 Juli 2010.
- Gatot Trimulyadi Rekso, Chemical And Physical Properties Of Cassava Starch-CM Chitosan- Acrylic Acid Gel Copolymerization By Gamma Irradiation, *Indonesian Journal of Chemistry*, Vol. 14, No 1, March, 2014, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Gajahmada, Yogyakarta, ISSN 1411-9420, Accredited by DIKTI No : 58/DIKTI/kep/2013, dated : 22 August 2013.
- Gatot Trimulyadi Rekso, Kopolimerisasi Cangkok Dan Karakterisasi Lembaran Kitosan Teriradiasi, *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, Volume 36, Nomor 1, April 2014, Balai Besar Kimia Dan Kemasan, Jakarta, ISSN 2088-025X, Terakreditasi Np : 526/AU1/P2MI-LIPI/04/2013.
- Mandal, Arup dan Debabrata Chakrabarty. 2015. Characterization of Nanocellulose Reinforced Semi-Interpenetratingpolymer Network of Poly(vinyl alcohol) & Polyacrylamide Compositefilms. Depok: www.elsevier.com/locate/carbpol diakses pada 10 Desember 2015.
- Normahani. 2015. Mengenal Pupuk Fosfat dan Fungsinya bagi Tanaman. Depok: balittra.litbang.pertanian.go.id diakses pada 20 Desember 2015.
- Shaviv, A.; Mikkelsen, R.L. 1993. Controlled-Release Fertilizers to Increase Efficiency of Nutrient Use and Minimize Environmental Degradation. A review, *Fertilizer Research*, 35, 1–12.
- Simanjuntak, Maurits Jihar. 2008. Studi Film Polyvinil Alkohol (PVA) Dimodifikasi dengan Acrylamid (AAm) Sebagai Material Sensitif Terhadap Kelembaban. Depok: www.lib.ui.ac.id diakses pada Selasa, 17 November 2015.
- Skoog. D. A., Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch, 2000. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. Hardcover: 992 pages, Publisher: Brooks Cole



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Jayanudin (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)
Notulen : Retno Ringgani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Wulan Sari (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : 1. Apakah variabel suhu yang dipakai memberikan pengaruh yang besar ?
2. Pupuk NPK yang diproduksi ini memiliki kualitas yang bagus karena mempunyai kemampuan *slow release*. Selanjutnya, apakah produk ini mampu bersaing dengan produk pupuk NPK yang saat ini beredar di pasaran?
Jawaban : 1. Iya betul. Temperatur sangat berpengaruh pada penelitian ini. Berdasarkan percobaan dan referensi yang diacu maka maksimal suhu yang digunakan dan disarankan adalah pada suhu 90⁰C.
2. Fokus penelitian yang saya lakukan adalah pada pembuatan pelapis dari polimer yang menyebabkan pupuk NPK *slow release*, bukan membuat pupuk NPK. Sehingga kalau untuk kemampuan daya saing dengan produk NPK yang ada di pasaran saya tidak tinjau.
2. Penanya : Dewi Wahyuningtyas (Institute Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta)
Pertanyaan : Pembuatan pelapis polimer untuk pupuk NPK dengan metode radiasi. Karena prosesnya melibatkan proses radiasi apakah memberikan pengaruh terhadap lingkungan dan berpengaruh pada pertumbuhan tanaman ?
Jawaban : Pada proses pembuatan pelapis pupuk dengan melakukan crosslinking tidak menggunakan bahan kimia tapi dengan proses radiasi. Dan sudah dilakukan cek, bahwa bebas dari radikal bebas sehingga aman terhadap lingkungan. Akan tetapi belum dilakukan ujicoba terhadap pertumbuhan fisik tanaman.
3. Penanya : Jayanudin (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)
Pertanyaan : Apakah hubungan *control release* dengan *slow release* jika dikaitkan pada penelitian ini?
Jawaban : Pada penelitian ini *slow release* diatur dengan cara atur pori-pori bahan polimer, prosesnya ke arah difusi. Harapan target penelitian ini adalah supaya *release* unsur pupuk NPK secara bertahap. Yaitu, diawali unsur N *release*, selanjutnya unsur P dan berikutnya unsur K. Bukan secara total *release* akan tetapi secara bertahap. *Control release* dilakukan melalui proses difusinya.