

Pelepasan Lambat (*Slow Release*) Diazinon dari Mikrokapsul Melamin Urea Formaldehid

Retno Sulistyono Dhamar Lestari^{1,*}, Rochmadi², Supranto²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jendral Sudirman Km.3 Cilegon, Banten

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2 Yogyakarta

Abstract

The basic concept of slow release is to control the active ingredient release from microcapsules by means of coating made from either water-insoluble, semi permeable or porous permeable materials. By designing microcapsules wall thickness, the diffusion rate of active ingredient can be controlled. Microcapsules containing diazinon pesticides as a core material have been prepared by in-situ polymerization using melamin urea formaldehyde prepolymer as the wall material. The polymerization had been done at 50 °C and pH 3, with homogenization time of 30 minutes, and microencapsulation time of 2 hours.

To measure pesticide release rate, a number of Melamine Urea Formaldehyde (MUF) microcapsules were soaked in aquadest at various pH and microcapsules wall thicknesses. In this study, the diameter of MUF microcapsules ranged from 50 to 160 µm. Without surfactant addition, the microcapsule wall thickness was 13.8 µm, but by adding SDS and PVA the wall thickness of microcapsule decreased by 45% i.e. around 7.55 µm. For microcapsules with wall thickness of 13.8 µm, the pesticide releasing rate ranged from 0.52×10^{-6} to 1.69×10^{-6} mg/cm²·s. On the other side, the microcapsules with wall thickness of 7.55 µm the pesticide releasing rate dramatically increased by 74% ranged from 0.66×10^{-6} to 3.4×10^{-6} mg/cm²·s.

Keywords: slow release, melamine urea formaldehyde microcapsules, diazinon.

Abstrak

Konsep dasar *slow release* adalah pengaturan pelepasan bahan aktif dari mikrokapsul dengan pelapisan dari bahan semi *permeable* yang tidak larut dalam air atau bahan berpori yang *permeable*. Pengaturan ketebalan dinding mikrokapsul dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan difusi bahan aktif dari mikrokapsul. Mikrokapsul dengan bahan inti pestisida diazinon dibuat dengan metode polimerisasi insitu, menggunakan melamin, urea, dan formaldehid sebagai bahan dinding mikrokapsul. Polimerisasi dilakukan pada suhu 50 °C, pH 3, dengan waktu homogenisasi 30 menit dan waktu mikroenkapsulasi 2 jam.

Pengujian kecepatan pelepasan pestisida dilakukan dengan merendam sejumlah mikrokapsul melamin urea formaldehid (MUF) dalam aquades dengan pH yang bervariasi dan ketebalan dinding mikrokapsul yang berbeda. Pada penelitian ini, diameter mikrokapsul MUF diperoleh pada kisaran 50 sampai dengan 160 µm. Tanpa penambahan surfaktan, hasil mikrokapsul memiliki ketebalan 13,8 µm. Sedangkan dengan penambahan SDS dan PVA tebal dinding mikrokapsul yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar 45%, yaitu menjadi 7,55 µm. Pada mikrokapsul dengan ketebalan 13,8 µm, kecepatan pelepasan pestisida berada pada kisaran $0,52 \times 10^{-6}$ sampai dengan $1,69 \times 10^{-6}$ mg/cm²·s. Sedangkan pada mikrokapsul dengan ketebalan 7,55 µm, kecepatan pelepasan diazinon meningkat sebesar 74%, yaitu berada pada kisaran $0,66 \times 10^{-6}$ sampai dengan $3,4 \times 10^{-6}$ mg/cm²·s.

Kata kunci : *slow release*, mikrokapsul melamin urea formaldehid, diazinon

Pendahuluan

Prinsip *slow release* adalah pengaturan pelepasan bahan aktif dari mikrokapsul untuk melindungi bahan aktif yang melarut secara konvensional dengan pelapisan dari bahan semi *permeable*, tidak larut dalam air, atau bahan berpori yang *permeable*. Dalam bidang farmasi maupun pertanian ada beberapa jenis obat,

pupuk, dan pestisida yang harus terurai dengan jumlah terkontrol.

Penelitian tentang penggunaan beberapa bahan mikrokapsul telah dilakukan. Rahayu dan Robiatun (1997) menggunakan pati sebagai bahan pembantu utama dalam pembuatan formulasi *controlled release* dengan pestisida khlorpirifos, diazinon, dan karbofuran sebagai bahan aktifnya. Sedangkan Jabbari dan Khakpour (2000) menggunakan melamin urea formaldehid sebagai pelapis mikrokapsul dengan pestisida

* Alamat korespondensi: retno.sulistyono81@gmail.com

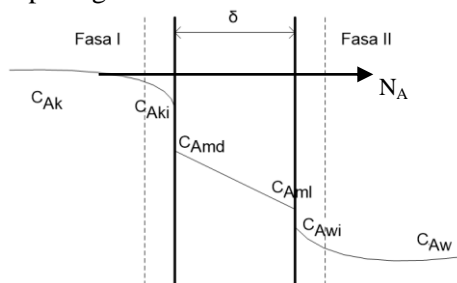
diazinon sebagai bahan aktifnya. Dalam penelitian ini, juga dipelajari pengaruh penambahan *chain extender agent* terhadap ukuran pori pada pembuatan *microsphere-polyurethane* dan perilaku pelepasan diazinon. Karakter mikrokapsul seperti diameter dan ketebalan dinding mikrokapsul, kadar minyak, efisiensi resin, dan efisiensi minyak serta pengaruhnya terhadap kecepatan pelepasan diazinon dari mikrokapsul juga dipelajari.

Pelepasan bahan aktif melalui dinding mikrokapsul terjadi secara difusi. Kecepatan difusi ini dipengaruhi oleh ukuran, tebal dinding, dan sifat permeabilitas bahan dinding mikrokapsul (Sune, 2005; Cryer, 2011). Yang dan Pan (1996) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi pestisida deltamethrin dan minyak nabati yang dimikroenkapsulasi dengan larutan prepolimer urea formaldehid. Dengan komposisi deltamethrin sebesar 0,5% dari total berat resin prepolimer urea formaldehid atau sebesar 11 mg/g kecepatan pelepasannya sebesar 9,43 mg/g.hari. Menurut Rochmadi dkk (2010) tebal dinding mikrokapsul jauh lebih kecil dibandingkan dengan diameternya, sehingga secara matematis peristiwa difusi ini dapat didekati sebagai difusi melalui *slab* padat dengan ketebalan δ (tebal dinding mikrokapsul).

Difusi adalah proses perpindahan massa suatu zat yang dibawa oleh gerakan molekular secara acak dan disebabkan oleh perbedaan konsentrasi molekul (Treybal, 1981). Persamaan difusivitas zat A dalam cairan B mengikuti Hukum Fick sebagai berikut:

$$N_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial x} \quad (1)$$

Perpindahan massa antar fasa dua film terjadi pada batas fasa padat-cair di kedua sisi dinding mikrokapsul, dengan gradien konsentrasinya seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Transfer massa dari fase padat ke fase cair melalui lapisan film

Transfer massa pestisida dari dalam mikrokapsul ke *interface* membran sebelah dalam (Fasa I) dinyatakan dengan persamaan:

$$N_A = k_{cd}(C_{Ak} - C_{Aki}) \quad (2)$$

Sedangkan transfer massa pestisida melalui membran dengan ketebalan δ dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$N_A = \frac{D_{AB}}{\delta}(C_{Amd} - C_{Aml}) \quad (3)$$

Selanjutnya, transfer massa pestisida dari *interface* sebelah luar ke air dinyatakan dengan persamaan:

$$N_A = k_{cl}(C_{Awi} - C_{Aw}) \quad (4)$$

Jika diasumsikan tidak ada akumulasi bahan A pada lapisan film, dengan C_{Aki} dan C_{Aml} masing-masing setimbang dengan C_{Amd} dan C_{Awi} dimana hubungan kesetimbangannya mengikuti hukum Henry, yaitu:

$$C_{Amd} = H_d \cdot C_{Aksi} \text{ dan } C_{Aml} = H_l \cdot C_{Awi} \quad (5)$$

maka difusi diazinon melalui dinding mikrokapsul dianggap sebagai langkah yang mengontrol dan dapat didekati dengan persamaan:

$$N_A = \frac{D_{AB}}{\delta} [H_d \cdot C_{Ak} - H_l \cdot C_{Aw}] \quad (6)$$

Bila sudah tercapai kesetimbangan antara konsentrasi diazinon di dalam mikrokapsul dan di dalam air, maka:

$$C_{Ak} = H \cdot C_{Aw} \text{ dengan } H_l = H \cdot H_d \quad (7)$$

Dalam keadaan tersebut, neraca massa diazinon di dalam mikrokapsul dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$V_m \frac{dC_{Ak}}{dt} = -A_m \frac{D_{AB}}{\delta} \cdot [H_d \cdot C_{Ak} - H_l \cdot C_{Aw}] \quad (8)$$

Sedangkan neraca massa diazinon di dalam air dinyatakan dengan persamaan:

$$V_w (C_{A0} - C_{Ak}) = V_w C_{Aw} \quad (9)$$

Konsentrasi awal diazinon di dalam mikrokapsul adalah C_{A0} , sedangkan di dalam air pada kondisi mula-mula dianggap tidak ada. Maka persamaan (8) dan (9) mempunyai kondisi awal, pada waktu $t = 0$, $C_{Ak} = C_{A0}$ dan $C_{Aw} = 0$. Penyelesaian secara analitis dari persamaan (8) dan (9) diperoleh persamaan:

$$C_{Ak} = \frac{C_{A0}}{\left(1 + \frac{V_m \cdot H_l}{H_d \cdot V_w}\right)} \left\{ \frac{V_m \cdot H_l}{H_d \cdot V_w} + \exp \left[-A_m \cdot \frac{D_{AB}}{\delta} \left(\frac{H_d}{V_m} + \frac{H_l}{V_w} \right) t \right] \right\} \quad \dots (10)$$

Konsentrasi diazinon di dalam air, C_{Aw} pada eksperimen dapat ditentukan dengan analisis sampel sehingga diperoleh C_{Awdata} . Sedangkan dengan menggunakan persamaan (9) dan (10)

konsentrasi C_{Aw} dapat dihitung jika nilai D_{AB} dan H_d diketahui sehingga diperoleh $C_{AWhitung}$. Oleh karena itu nilai D_{AB} dan H_d mula-mula ditentukan, kemudian menggunakan persamaan (9) dan (10) nilai C_{Aw} di hitung. Nilai H_d dan D_{AB} yang memenuhi adalah yang memberikan *Sum of Square of Errors* (SSE) dari C_{Aw} yang minimum sesuai persamaan berikut:

$$SSE = \sum (C_{AWhitung} - C_{Awdata})^2 \quad (11)$$

Nilai H_d dan D_{AB} yang didapat digunakan untuk menghitung kecepatan pelepasan diazinon dengan menggunakan persamaan (6).

Metode Penelitian

Pembuatan resin MUF

Resin MUF dibuat dengan melarutkan melamin dan urea kedalam formaldehid, kemudian diaduk dan dipanaskan hingga mencapai suhu 70°C. Reaksi dilakukan selama 2 jam dengan pH 10.

Pembuatan mikrokapsul MUF

Pembuatan mikrokapsul dimulai dengan pembuatan sistem emulsi minyak dalam air, yaitu larutan prepolimer MUF. Minyak kelapa sawit, diazinon dan aquades dicampur dalam gelas beaker kemudian diaduk dengan *homogenizer* pada suhu 50°C dengan kecepatan putar 12.000 rpm selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan proses mikroenkapsulasi. Pada proses ini, pengaduk diganti dengan pengaduk heliks, diaduk dengan kecepatan putar 100 rpm selama 2 jam pada suhu 50°C. Larutan asam sitrat 10% ditambahkan ke dalam emulsi untuk mengatur pH agar berada pada pH 3. Kemudian larutan hasil didinginkan dan disaring untuk dilakukan karakterisasi. Ketebalan mikrokapsul yang berbeda dapat diperoleh dengan penambahan *sodium dodecyl sulfat* (SDS) pada proses emulsifikasi sedangkan untuk menstabilkan emulsi ditambahkan polivinil alkohol (PVA) pada awal proses mikroenkapsulasi.

Pengujian kecepatan pelepasan pestisida

Pengujian kecepatan pelepasan pestisida dilakukan dengan cara merendam sebanyak 0,2 g mikrokapsul MUF ke dalam 400 mL aquades. pH larutan divariasikan pada pH 5, 6, 7, dan 8 dengan menambahkan larutan *buffer* ke dalam aquades. Pengambilan sampel larutan adalah setiap 24 jam, kemudian dianalisis dengan menggunakan *UV spectrophotometer* pada panjang gelombang 246 nm untuk menentukan

konsentrasi diazinon pada larutan. Pengambilan sampel dilakukan terus-menerus sampai diperoleh konsentrasi diazinon dalam larutan yang relatif tetap. Proses pengujian dilakukan untuk mikrokapsul MUF pada berbagai variasi ketebalan yang berbeda.

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi mikrokapsul

Pengukuran diameter mikrokapsul MUF dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa mikrokapsul hasil berbentuk bola-bola dengan kandungan minyak yang berisi diazinon di dalamnya. Dari hasil pengukuran, didapat diameter mikrokapsul MUF berkisar antara 50-160 µm seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

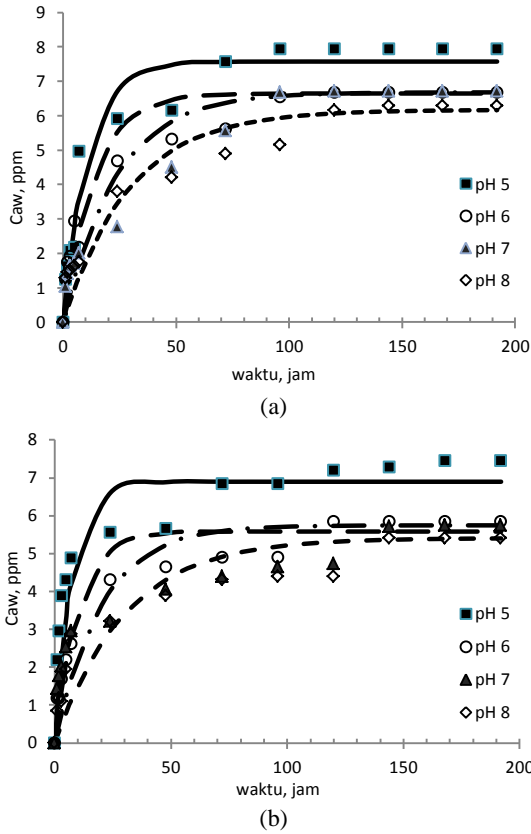
Tabel 1. Karakteristik hasil mikrokapsul MUF

Hasil mikrokapsul	Diameter (µm)	Tebal (µm)	Luas permukaan (cm ²)	Kadar minyak	Effisiensi resin	Efisiensi Minyak
Mikrokapsul MUF	103,9	13,8	29,95	0,45	48,24%	40,16%
Mikrokapsul MUF (SDS dan PVA)	102,4	7,55	45,13	0,81	52,18%	58,7%

Kecepatan pelepasan diazinon dari mikrokapsul MUF

Profil konsentrasi diazinon dalam aquades (C_{Aw}) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berbentuk eksponensial, sesuai model persamaan (10). Pada 24 jam pertama, untuk mikrokapsul dengan ketebalan dinding 13,8 µm (Gambar 2.(a)) dan 120 µm (Gambar 2.(b)) konsentrasi diazinon dalam aquades meningkat sangat drastis. Peningkatan konsentrasi diazinon dalam aquades mulai menurun pada waktu 24 jam hingga 80 jam untuk mikrokapsul dengan ketebalan 13,8 µm, sedangkan pada mikrokapsul dengan ketebalan 120 µm terjadi pada 24 jam hingga 100 jam. Konsentrasi diazinon dalam aquades mulai konstan pada waktu diatas 100 jam untuk mikrokapsul dengan ketebalan dinding 13,8 µm sedangkan pada mikrokapsul dengan ketebalan dinding 120 µm terjadi pada waktu diatas 140 jam.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pengaruh pH aquades terhadap kecepatan pelepasan diazinon dari mikrokapsul tidak signifikan dimana pada waktu diatas 100 jam konsentrasi diazinon dalam larutan pada berbagai pH hampir sama khususnya pada pH 6, 7 dan 8.



Gambar 2. Profil konsentrasi diazinon di air dari mikro kapsul MUF (a) pada $\delta = 13,8 \mu\text{m}$; (b) pada $\delta = 7,55\mu\text{m}$

Sekitar 6% bahan aktif diazinon mulai lepas dari mikro kapsul pada waktu 1 jam perendaman. Sedangkan pada waktu 8 hari perendaman sudah 9,7% bahan aktif yang terlepas.

Nilai D_{AB} dan H dievaluasi dengan metode minimasi SSE, yang hasilnya disajikan pada Tabel 2. Koefisien difusivitas dan tetapan H_d untuk bahan yang sama sebenarnya memiliki nilai yang sama. Akan tetapi karena kondisi pengambilan sampel yang berbeda maka nilai D_{AB} yang diperoleh pun berbeda. Dengan uji statistik menggunakan metode *student's 't'* distribution pada level of confidence 95% diperoleh nilai D_{AB} untuk mikro kapsul MUF dengan $\delta = 13,8 \mu\text{m}$ berada dalam kisaran $0,24 \times 10^{-11} - 1,67 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$. Oleh karena itu, nilai konstanta D_{AB} yang tercantum pada Tabel 2 secara statistik dapat dianggap tetap.

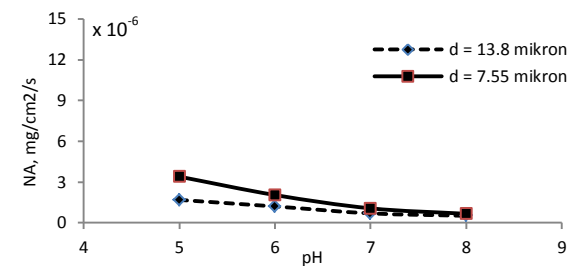
Tabel 2. Nilai koefisien D_{AB} dan kecepatan pelepasan pestisida dari mikro kapsul MUF pada berbagai variasi pH

pH	$(\delta = 13,8 \mu\text{m})$				$(\delta = 7,55 \mu\text{m})$			
	D_{AB} (cm^2/s)	H	H_d	N_A ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{s}$)	D_{AB} (cm^2/s)	H	H_d	N_A ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{s}$)
5	$1,48 \times 10^{-11}$	1892	8	$1,69 \times 10^{-6}$	$2,56 \times 10^{-11}$	179	10	$3,40 \times 10^{-6}$
6	$1,33 \times 10^{-11}$	2318	6	$1,21 \times 10^{-6}$	$1,39 \times 10^{-11}$	431	11	$2,05 \times 10^{-6}$
7	$0,58 \times 10^{-11}$	2259	8	$0,70 \times 10^{-6}$	$0,72 \times 10^{-11}$	467	11	$1,07 \times 10^{-6}$
8	$0,43 \times 10^{-11}$	2516	8	$0,52 \times 10^{-6}$	$0,62 \times 10^{-11}$	574	8	$0,66 \times 10^{-6}$

Kecepatan pelepasan diazinon dari mikro kapsul MUF dapat dihitung dengan persamaan (6). Dengan memasukkan parameter-parameter yang sudah diketahui seperti D_{AB} , δ , H , C_{Ak} dan C_{Aw} maka pada air dengan pH 5 diperoleh kecepatan pelepasan pestisida sebesar $1,69 \times 10^{-6} \text{ mg}/\text{cm}^2.\text{s}$.

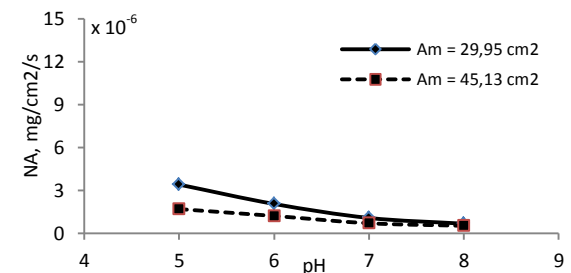
Pengaruh pH terhadap kecepatan pelepasan diazinon

Gambar 3 menunjukkan bahwa pH tidak berpengaruh terhadap kecepatan pelepasan diazinon dari mikro kapsul MUF. Oleh karena itu, koefisien difusivitas diazinon dari mikro kapsul (D_{AB}) dianggap tetap.



Gambar 3. Kecepatan pelepasan diazinon dari mikro kapsul MUF pada berbagai variasi pH

Besaran nilai H dan D_{AB} dipengaruhi oleh bahan dan cara pembuatan mikro kapsul. H_d merupakan perbandingan konsentrasi dalam 2 fase, pada mikro kapsul dengan tebal $7,55 \mu\text{m}$ nilai konstanta H_d lebih besar dibandingkan dengan pada mikro kapsul MUF dengan tebal $13,8 \mu\text{m}$. Semakin besar nilai koefisien H_d maka semakin cepat diazinon mendifusi melalui dinding mikro kapsul.

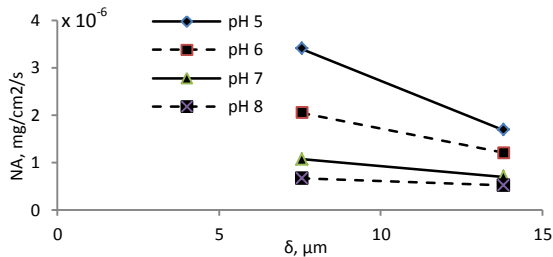


Gambar 4. Pengaruh luas permukaan mikro kapsul MUF terhadap kecepatan pelepasan pestisida pada berbagai variasi pH

Kecepatan pelepasan diazinon dari mikro kapsul dipengaruhi oleh luas permukaan mikro kapsul. Sedangkan luas permukaan efektif mikro kapsul tergantung pada besar kecilnya ukuran mikro kapsul. Semakin kecil ukuran

mikrokapsul MUF, maka luas permukaan akan semakin besar dan kecepatan pelepasan diazinon melalui dinding mikrokapsul juga semakin besar. Dengan penambahan SDS dan PVA, luas permukaan mikrokapsul MUF dapat ditingkatkan. Pada peningkatan luas permukaan sebesar 51%, kecepatan pelepasan diazinon meningkat sebesar 74%.

Pengaruh ketebalan dinding mikrokapsul terhadap kecepatan pelepasan diazinon



Gambar 5. Kecepatan pelepasan diazinon dari mikrokapsul MUF pada variasi ketebalan dinding mikrokapsul

Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, kecepatan pelepasan diazinon dari mikrokapsul ke dalam air untuk mikrokapsul MUF dengan ketebalan dinding, $\delta = 7,55 \mu\text{m}$ lebih cepat dibandingkan dengan mikrokapsul MUF dengan ketebalan dinding $\delta = 13,8 \mu\text{m}$. Penambahan SDS dan PVA menyebabkan mikrokapsul MUF yang dihasilkan memiliki ketebalan yang lebih rendah, sehingga kecepatan transfer massa diazinon dari mikrokapsul ke cairan menjadi lebih cepat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan SDS dan PVA menyebabkan penurunan ketebalan mikrokapsul sebesar 45% yaitu dari $13,8 \mu\text{m}$ menjadi $7,55 \mu\text{m}$ dengan diameter $60\text{-}160 \mu\text{m}$, sedangkan tanpa penambahan SDS dan PVA diperoleh mikrokapsul dengan diameter $50\text{-}160 \mu\text{m}$.

Kecepatan pelepasan diazinon pada mikrokapsul MUF dengan ketebalan $7,55 \mu\text{m}$ adalah sebesar $0,66 \times 10^{-6}$ sampai dengan $3,4 \times 10^{-6} \text{ mg}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$, hal ini lebih cepat 74% dibandingkan dengan pada mikrokapsul MUF dengan ketebalan $13,8 \mu\text{m}$, yaitu sebesar $0,52 \times 10^{-6}$ sampai dengan $1,69 \times 10^{-6} \text{ mg}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$.

Pengaruh pH media pelepasan terhadap kecepatan pelepasan diazinon dari mikrokapsul MUF tidak signifikan.

Daftar Notasi

- A_m = luas total permukaan mikrokapsul, cm^2
- C_{A0} = konsentrasi diazinon mula-mula, mg/mL
- C_{Ak} = konsentrasi diazinon di dalam mikrokapsul, mg/mL
- C_{Aki} = konsentrasi diazinon pada *interface* membran – mikrokapsul, mg/mL
- C_{Amd} = konsentrasi diazinon di membran sebelah dalam mikrokapsul, mg/mL
- C_{Aml} = konsentrasi diazinon di membran sebelah luar mikrokapsul, mg/mL
- C_{Aw} = konsentrasi diazinon di dalam air, mg/mL
- $C_{Aw \text{ data}}$ = konsentrasi diazinon di air berdasarkan data percobaan, mg/mL
- $C_{Aw \text{ hitung}}$ = konsentrasi diazinon di air berdasarkan hasil perhitungan, mg/mL
- C_{Awi} = konsentrasi diazinon pada *interface* membran - air
- D_{AB} = koefisien difusivitas diazinon melalui dinding mikrokapsul, cm^2/s
- δ = tebal dinding mikrokapsul, μm
- H = konstanta kesetimbangan diazinon antara fase minyak dan fase air
- H_d = konstanta kesetimbangan di fasa I
- H_i = konstanta kesetimbangan di fasa II
- k_c = koefisien transfer massa, cm/s
- k_{cd} = koefisien transfer massa di fasa I, cm/s
- k_{ci} = koefisien transfer massa di fasa II, cm/s
- MUF = melamin urea formaldehid
- N_A = kecepatan transfer massa A, $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$
- PVA = *polyvinyl alcohol*
- SDS = *sodium dodecyl sulfate*
- SSE = *Sum of Square of Errors*
- V_m = volume larutan diazinon dalam mikrokapsul, mL
- V_w = volume aquadest, mL

Daftar Pustaka

- Cryer, S. A., 2011. Efficacious Considerations for the Design of Diffusion Controlled Pesticide Release Formulations, *Pesticides - Formulations, Effects, Fate*, Prof. Margarita Stoytcheva (Ed.), ISBN: 978-953-307-532-7, InTech.
- Jabbari, E dan Khakpour, M., 2000. Morphology of and release behavior from porous polyurethane microsphere, *Biomaterials*, 21 : 2073 – 2079.
- Rahayu, S. P. dan Robiatun, R., 1997. Pemanfaatan pati sebagai bahan pembantu utama dalam pembuatan formulasi pestisida controlled release, *Bulletin Penelitian*, vol. XIX no. 1, LIPI.
- Rochmadi, Prasetya, A., dan Hasokowati, W., 2010. Mechanism of Microencapsulation with Urea-Formaldehyde Polymer, *American Journal of Applied Sciences*, vol 7, pp.739-745.
- Sopena, F., Maqueda, C., dan Morilo, E., 2009. Controlled release formulation of herbicides based on microencapsulation, *Cien. Inv. Agr*, 35(1): 27–42.
- Sune, N. M., 2005. Prediction of solubility and diffusion properties of pesticides in polymers, Ph.D Thesis, Dept of Chemical Engineering, Technical University of Denmark.
- Treybal, R. E., 1961. *Mass Transfer Operation*, McGraw-Hill Book Company.
- Yang, C. C. dan Pan, L. H., 1996. Preparation of Pesticide Microcapsule. US Patent 5, 576, 008.