



TEKNOLOGI NANOPARTIKEL
SENYAWA DIMETHYLOCTANE DIOIC ACID
SEBAGAI BAHAN AKTIF SISTEM PENGENDALIAN
HAMA GUDANG *Callosobruchus maculatus* (F.)

Skripsi
disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Biologi

oleh
Alfath Fanidya
4411414011

JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2018

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Teknologi Nanopartikel Senyawa Dimethyloctane Dioic Acid sebagai Bahan Aktif Sistem Pengendalian Hama Gudang *Callosobruchus maculatus* (F.)” bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 4 Desember 2018

Yang menyatakan,



Alfath Fanidya

NIM. 4411414011

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Teknologi Nanopartikel Senyawa Dimethyloctane Dioic Acid sebagai Bahan Aktif Sistem Pengendalian Hama Gudang *Callosobruchus maculatus* (F.)

disusun oleh

Alfath Fanidya

4411414011

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 11 Desember 2018.

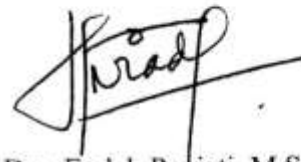
Panitia :



Ketua

Sudarmin, M.Si.
NIP. 196501231992031003

Sekretaris



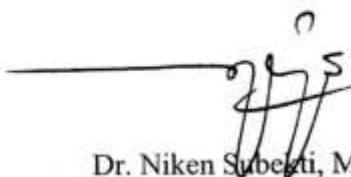
Dra. Endah Peniati, M.Si.
NIP. 196511161991032001

Ketua Penguji



Prof. Dr. Ir. Priyantini Widiyaningrum, M.S.
NIP. 196004191986102001

Anggota Penguji/
Pembimbing I



Dr. Niken Subekti, M.Si.
NIP. 197302141999032001

Anggota Penguji/
Pembimbing II



Drs. Bambang Priyono, M.Si.
NIP. 195703101988101001

MOTTO

“Barangsiapa menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya di antara jalan menuju surga. Sesungguhnya malaikat meletakkan sayapnya sebagai tanda ridho pada penuntut ilmu. Sesungguhnya orang yang berilmu diminta ampun oleh setiap penduduk langit dan bumi, sampai pun ikan yang berada dalam air.”

(HR. Abu Daud no : 3641)

“Compete against yourself before competing with others”

PERSEMBAHAN

Untuk semua pihak yang telah berperan membantu penelitian ini.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penulis telah banyak menerima bantuan, kerjasama, doa, dan sumbangan pikiran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI.
2. Rektor Universitas Negeri Semarang.
3. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Niken Subekti, M.Si. selaku pembimbing utama yang telah memberikan saran, arahan dan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Drs. Bambang Priyono, M.Si. selaku pembimbing, pendamping yang telah memberikan saran, arahan dan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Prof. Dr. Ir. Priyantini Widiyaningrum, M.S. selaku Dosen Wali penulis sekaligus penguji yang telah memberikan kritik dan saran untuk menyelesaikan tugas akhir.
8. Dr. Titik Kartika, M.Agr selaku pembimbing di Laboratorium Biomaterial LIPI Cibinong, Bogor.
9. Pusat Penelitian Biomaterial Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Bogor.
10. Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology BIOTROP Bogor.
11. Seluruh jajaran Laboratorium Entomologi SEAMEO Biotrop Bogor.
12. Laboratorium Biologi Universitas Negeri Semarang.
13. Orang tua dan keluarga tercinta atas segala pengorbanan, dukungan dan doa.

14. Teman-teman yang mendukung dan membantu dalam pelaksanaan penelitian.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena kesempurnaan hanya milikNya. Namun demikian, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca di masa yang sekarang dan yang akan datang.

Semarang, 4 Desember 2018

Penulis

ABSTRAK

Fanidya, Alfath. 2018. Teknologi Nanopartikel Senyawa Dimethyloctane Dioic Acid sebagai Bahan Aktif Sistem Pengendalian Hama Gudang *Callosobruchus maculatus* (F.). Skripsi, Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Dr. Niken Subekti, M.Si. dan Drs. Bambang Priyono, M.Si.

Kata kunci: *Callosobruchus maculatus* (F.), dymethyloctane dioic acid, feromon, nanopartikel.

Callosobruchus maculatus (F.) merupakan hama gudang yang menyebabkan kerusakan pada kacang- kacangan. Salah satu teknik pengawetan bahan pangan dari ancaman serangga yang sudah dilakukan di Indonesia yaitu dengan menggunakan pestisida kimia dan fumigan. Penggunaan bahan kimia secara terus-menerus dapat mengganggu kesehatan manusia dan mencemari lingkungan serta organisme non target. Pengendalian berbasis nanopartikel dimethyloctane dioic acid sangat efektif untuk mengatasi hal tersebut karena dapat mengurangi penguapan senyawa. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode ekstraksi senyawa dimethyloctane dioic acid dan menganalisis keefektifan nanopartikel dimethyloctane dioic acid dalam mengendalikan *C. maculatus*. Metode penelitian terdiri dari preparasi sampel, ekstrak dimethyloctane dioic acid, analisis GC-MS, nanopartikel dimethyloctane dioic acid, *bioassay Y*, dan karakterisasi nanopartikel menggunakan analisis PSA dan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa yang diekstrak menggunakan metode aerasi *headspace sampling* lebih efektif. Nanopartikel dimethyloctane dioic acid dengan ukuran sebesar 1578,1 nm dapat mempengaruhi respon dan perilaku *C. maculatus*. *Independent Sample T Test* memberikan hasil yang tidak signifikan antara respon *C. maculatus* terhadap ekstrak dan nanopartikel dimethyloctane dioic acid ($P= 0,783$, $P>0,05$).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Penegasan Istilah	4
1.5. Tujuan Penelitian	6
1.6. Manfaat Penelitian	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Biologi <i>Callosobruchus maculatus</i> (F.)	7
2.2. Senyawa Dimethyloctane dioic acid	11
2.3. Teknologi Nanopartikel	12
2.4. Kerangka Berpikir	16

2.5. Hipotesis	17
BAB 3. METODE PENELITIAN	18
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	18
3.2. Populasi dan Sampel	18
3.3. Variabel Penelitian	18
3.4. Alat dan Bahan Penelitian	19
3.5. Prosedur Penelitian	20
3.6. Instrumen Penelitian	25
3.7. Analisis Data	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Penelitian	29
4.1.1 Uji <i>Like-dislike</i>	29
4.1.2 Analisis GC-MS	30
4.1.3 Nanopartikel dimethyloctane dioic acid	31
4.1.4 Bioassay Olfaktometer Y	32
4.2 Pembahasan	34
BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Imago jantan dan betina	9
2.2 Telur dan larva <i>C. maculatus</i> (F.) pada kacang hijau	10
2.3 Pupa dan imago jantan <i>C. maculatus</i> (F.)	11
2.4 Struktur senyawa dimethyloctane dioic acid	13
2.5 Kerangka berpikir	17
3.1 Skema prosedur penelitian	21
3.2 Skema metode aerasi <i>headspace sampling</i>	23
3.3 Skema uji <i>like-dislike</i>	24
3.4 Skema <i>bioassay Y</i>	26
4.1 Hasil GC-MS	31
4.2 Hasil analisis PSA	33
4.3 Hasil analisis SEM	33

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Lembar tabel pengamatan uji <i>like-dislike</i>	27
3.2 Lembar tabel pengamatan uji <i>bioassay</i>	28
4.1 Waktu tempuh uji <i>bioassay</i>	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Uji <i>Like-Dislike Petri dish</i>	49
2. Analisis <i>Independent T Test Uji Like-dislike</i>	50
3. Hasil Analisis GC-MS	51
4. Hasil Analisis PSA	57
5. Hasil Analisis SEM	58
6. Hasil Uji <i>Bioassay Y</i>	59
7. Analisis <i>Independent T Test Data Bioassay Y</i>	64
8. Dokumentasi Penelitian	66

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Legum atau kacang-kacangan merupakan salah satu komoditas penting sebagai penyedia pangan di Indonesia. Komoditas ini termasuk pangan yang konsumsinya telah tersebar luas, diantaranya adalah kacang tunggak, kacang hijau, kacang merah, kacang gude, kacang kedelai, kacang ercis, kacang komak, dan kacang bogor (Barus *et al.*, 2014; Bustami *et al.*, 2014; Mustakim, 2012).

Kementerian Pertanian dan BPS menyatakan bahwa produksi kacang di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 613.365 ton. Kebutuhan kacang meningkat rata-rata 2,8%/tahun, sedangkan produksi rata-rata masih 1,0%/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kekurangan produksi kacang dalam negeri selama kurun waktu ke depan belum dapat memenuhi kebutuhan dan permintaan sehingga ketergantungan impor kacang di Indonesia meningkat.

Penyimpanan pasca panen merupakan tahapan hasil pertanian yang paling penting dan berpengaruh (Sari & Cahyono, 2016). Pada tahap ini terjadi interaksi antara kondisi lingkungan dan organisme termasuk hama gudang yang dapat merubah kualitas dan kuantitas. Menurut Ummah (2012) bahwa serangga hama gudang dapat menyebabkan kerusakan dan mempunyai peranan penting terhadap kesehatan manusia. Salah satu hama gudang yang merusak bahan pangan adalah kutu kacang *Callosobruchus maculatus* (F.) (Raghavendra, 2017). Hama ini menyerang kualitas benih tanaman legum/ kacang-kacangan seperti kacang tunggak, kacang hijau, kacang merah, kacang gude, kacang kedelai, kacang ercis, kacang komak, dan kacang bogor.

Pengawetan bahan pangan dari ancaman serangga biasanya dilakukan dengan menggunakan pestisida kimiawi berbahan organoklor, organofosfat, dan karbamat (Rahman, 2007). Namun demikian, penggunaan bahan kimia secara terus-menerus dapat mengganggu kesehatan manusia dan mencemari lingkungan. Fumigan pada umumnya mudah terserap oleh tumbuhan yang ditanam sehingga berbahaya saat dikonsumsi oleh manusia. Fumigan ini juga mudah diabsorpsi kulit manusia yang akan mengakibatkan edema pada paru-paru. Oleh karena itu, diperlukan suatu sarana pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan. Ada berbagai macam metode pengendalian hama gudang menggunakan feromon sebagai salah satu agen yang paling ekologis. Feromon adalah senyawa kimia yang diproduksi oleh serangga. Senyawa feromon pada *Callosobruchus maculatus* (F.) adalah jenis feromon seks yang dihasilkan oleh betina dengan memberikan sinyal penting sebagai komunikasi seksual sehingga menyebabkan terjadinya perkawinan. Feromon inilah yang akan digunakan sebagai umpan karena teknik ini lebih efektif, tepat sasaran, dan kontak yang tinggi terhadap mortalitas hama (Hutabarat, 2015).

Feromon pada hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) teridentifikasi sebagai senyawa dimethyloctane dioic acid yang spesifik pada spesies ini. Senyawa feromon seks *Callosobruchus maculatus* (F.) ini mudah menguap karena dilepaskan oleh betina untuk menarik lawan jenis dari jarak jauh. Teknologi nanopartikel sebagai pembuatan nanopartikel senyawa dimethyloctane dioic acid penting dilakukan untuk mengurangi penguapan senyawa dan meningkatkan efektifitas pengendalian hama gudang. Keuntungan dari teknologi nanopartikel antara lain tidak toksik, stabil selama penggunaan, luas permukaan yang lebar,

serta dapat dijadikan matriks untuk berbagai jenis obat dan ekstrak tanaman (Naahidi *et al.*, 2013). Teknologi nanopartikel dapat digunakan sebagai salah satu upaya pengembangan sediaan feromon untuk fumigan pengendalian hama gudang yang efektif, tepat sasaran, ramah lingkungan, dan aman.

Penelitian dengan mengkombinasikan antara feromon seks dimethyloctane dioic acid dengan teknologi nanopartikel seperti ini baru pertama dilakukan. Penelitian ini sangat penting dilakukan karena dapat mengurangi penguapan senyawa dimethyloctane dioic acid dalam pembuatan nanopartikel dimethyloctane dioic acid, meminimalisir biaya produksi nanopartikel dimethyloctane dioic acid untuk aplikasi pengendalian hama dengan teknik umpan tepat sasaran yang hanya mengenai hama target, dan dapat memberikan solusi terhadap permasalahan keamanan pangan nasional.

1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Produksi kacang di Indonesia menurun akibat serangan hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.). Pengendalian hama gudang masih menggunakan pestisida kimia.
2. Teknologi nanopartikel senyawa dimethyloctane dioic acid belum pernah dilakukan dalam pengendalian hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.).

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan keefektifan senyawa dimethyloctane dioic acid yang diperoleh dari ekstraksi menggunakan *body extract* dan aerasi *headspace charcoal* dalam mempengaruhi perilaku hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) ?
2. Bagaimana perbandingan keefektifan senyawa dimethyloctane dioic acid sebelum dan sesudah nanopartikel dalam mempengaruhi perilaku hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) ?

1.4. Penegasan Istilah

Kesalahpahaman pembaca dalam memahami istilah yang dipakai dalam penelitian sering terjadi, untuk menghindari hal tersebut maka perlu penegasan istilah yang terdapat dalam penelitian ini. Istilah yang perlu ditegaskan adalah sebagai berikut :

1. Keefektifan

Keefektifan berasal dari kata efektif yang berarti terdapat pengaruh atau efek dari suatu perlakuan dan dapat membawa keberhasilan untuk mencapai tujuan.

Penelitian ini memiliki dua maksud keefektifan, yaitu :

- a. Keefektifan senyawa dimethyloctane dioic acid yang diperoleh dari ekstraksi menggunakan *body extract* dan aerasi *headspace sampling* dapat diketahui dari uji ketertarikan hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) menggunakan *like-dislike petri dish*. Ketertarikan *Callosobruchus maculatus* (F.) diindikasikan dengan 75% jumlah serangga jantan yang digunakan untuk

pengujian dari seluruh ulangan lebih memilih senyawa dimethyloctane dioic acid dibandingkan dengan hexane sebagai kontrol dalam waktu tempuh kurang dari 5 menit.

- b. Keefektifan nanopartikel senyawa dimethyloctane dioic acid dapat diketahui dari ketertarikan *Callosobruchus maculatus* (F.) menggunakan *bioassay* Y. Ketertarikan *Callosobruchus maculatus* (F.) diindikasikan dengan 75% jumlah serangga jantan yang digunakan untuk pengujian lebih memilih senyawa dimethyloctane dioic acid dalam ukuran nanopartikel dibandingkan dengan kontrol dalam waktu tempuh kurang dari 5 menit.

2. Senyawa dimethyloctane dioic acid

Dimethyloctane dioic acid merupakan senyawa feromon seks yang dihasilkan oleh hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.). Senyawa feromon dalam penelitian ini dihasilkan dengan mengekstrak serangga betina menggunakan aerasi dari *charcoal tube*, senyawa tersebut belum berukuran nano.

3. Nanopartikel senyawa dimethyloctane dioic acid

Nanopartikel senyawa dimethyloctane dioic acid merupakan senyawa feromon seks yang dihasilkan oleh *Callosobruchus maculatus* (F.) dengan ukuran senyawa 1-1000 nm. Pembuatan nanopartikel menggunakan matriks pembawa kitosan yang bertujuan untuk mengikat senyawa dimethyloctane dioic acid agar tidak mudah menguap.

4. Hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.)

Hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) atau kutu kacang merupakan salah satu hama penting pasca panen yang menyerang komoditas kacang-kacangan. Kutu kacang yang digunakan dalam penelitian ini adalah kutu jantan

pada stadium imago 5 hari dan betina pada stadium imago 2 hari yang belum pernah melakukan kawin (*virgin female*).

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, maka tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis keefektifan senyawa dimethyloctane dioic acid dengan membandingkan senyawa yang diperoleh dari ekstraksi menggunakan *body extract* dan aerasi *headspace charcoal* dalam mempengaruhi perilaku hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.).
2. Menganalisis keefektifan senyawa dimethyloctane dioic acid dengan membandingkan senyawa sebelum dan sesudah nanopartikel dalam mempengaruhi perilaku hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.).

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan alternatif cara pengendalian hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) pada penyimpanan pasca panen yang ramah lingkungan. Pentingnya penelitian ini berfokus pada penggunaan teknologi nanopartikel senyawa dimethyloctane dioic acid untuk pengendalian hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) yang efektif, tepat sasaran, ramah lingkungan, dan aman.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biologi *Callosobruchus maculatus*

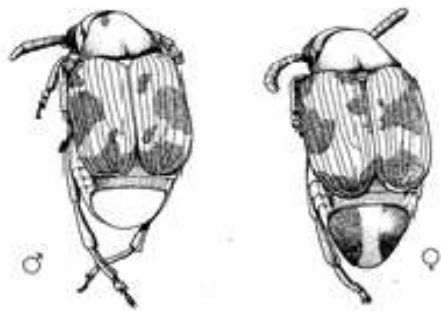
Klasifikasi *Callosobruchus maculatus* (F.) menurut *Integrated Taxonomix Information System* (2018) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia
Filum : Arthropoda
Kelas : Insekta
Ordo : Coleoptera
Famili : Chrysomelidae
Genus : *Callosobruchus*
Spesies : *Callosobruchus maculatus* (F.)

Kutu kacang *Callosobruchus maculatus* (F.) adalah hama utama biji-bijian polongan yang penting secara ekonomi. Kutu kacang *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) merupakan hama dalam penyimpanan tanaman legum/ kacang-kacangan yaitu kacang tunggak, kacang hijau, kacang merah, kacang gude, kacang kedelai, kacang ercis, kacang komak, kacang polong, kacang, dan kacang hitam (Devi, 2014). Hama ini termasuk dalam serangga holometabola yang terdapat dalam gudang penyimpanan pasca panen membuat biji-bijian tidak layak dikonsumsi.

Callosobruchus maculatus (F.) adalah salah satu genera di subfamili Bruchinae yang ada di keluarga Chrysomeloidae (Kergoat *et al.* 2007). Kelompok ini termasuk dalam keluarga kumbang, Coleoptera (dari bahasa

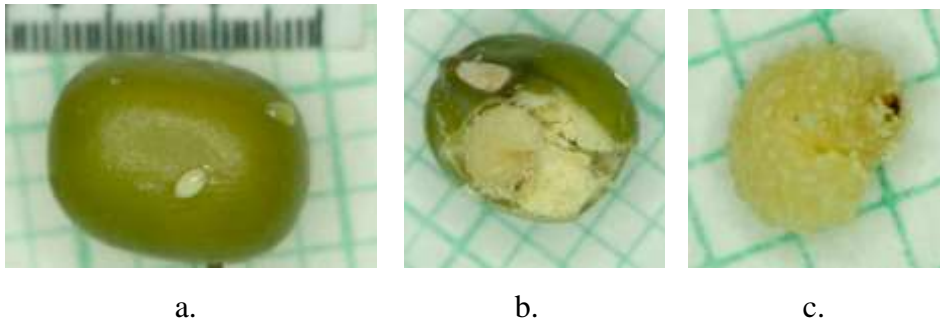
Yunani “selubung bersayap” pada sayap mengacu luar yang kaku, sepasang sayap pertama (elytra) yang melindungi membran sepasang sayap kedua). Kumbang kacang jantan dan betina mudah dibedakan satu sama lain oleh penampilan umum. Karakteristik yang paling membedakan adalah warna pada bagian yang menutupi ujung abdomen. Plat yang menutupi abdomen serangga betina lebih lebar dan berwarna gelap, pada serangga jantan plat yang menutupi abdomen lebih kecil dan tidak terdapat garis. Ukuran tubuh serangga betina lebih besar daripada ukuran serangga jantan. Perbedaan morfologi jantan dan betinanya dapat dilihat melalui gambar berikut.



Gambar 2.1. Imago jantan dan betina *Callosobruchus maculatus* (F.) . Perbandingan terlihat dari warna dan bentuk pada *posterior abdominal plate* atau *pygidium* (Beck & Blumer, 2011)

Hama ini menyerang biji-biji yang mengandung karbohidrat dan protein. Benih yang terserang hama ini embrionya rusak dan menyebabkan keping biji (kotiledon), bagian epikotil atau hipokotil cacat, dan menghasilkan tanaman yang tidak normal (Sukanata, 2014). Penyerangan *Callosobruchus maculatus* (F.) diawali dengan betina bertelur pada kacang yang hampir matang. Serangga jantan dan betina melakukan perkawinan, setelah itu betina dewasa akan bertelur (oviposit) di permukaan luar kacang. Panjang telur 0,75 mm dengan bentuk oval, jernih, mengkilap dan melekat kuat pada permukaan kacang.

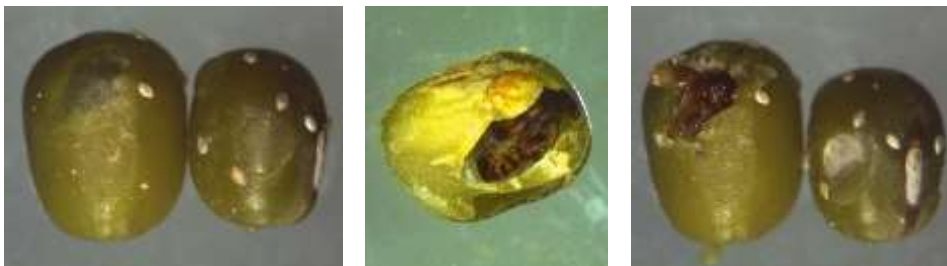
Larva yang menetas dari liang telur dari telur melalui kulit biji. Larva menggerak ke dalam endosperma kacang dan sisa telur (cangkang) menjadi putih buram atau berwarna belang-belang karena terdapat kotoran larva. Ada empat instar larva (Devereau *et al.* 2003) semua makan di dalam endosperma biji, tempat serangga meletakkan telur.



- Gambar 2.2a. Terdapat telur *Callosobruchus maculatus* (F.) yang diletakan betina di permukaan biji kacang hijau, warna putih menandakan usia telur lebih tua daripada telur berwarna transparan (Beck & Blumer, 2011).
- 2.2b. Kacang hijau yang di dalamnya terdapat larva *Callosobruchus maculatus* (F.) (Beck & Blumer, 2011)
- 2.2c. Larva *Callosobruchus maculatus* (F.) menggerak masuk ke dalam biji (Beck & Blumer, 2011)

Lapisan kacang terlihat masih utuh namun permukaan kacang membentuk lapisan tipis bulat berukuran 1-2 mm yang menunjukkan adanya larva yang sudah metamorfosis menjadi pupa. Pupasi terjadi di dalam benih dan serangga dewasa muncul dengan mengunyah dan melepaskan potongan melingkar dari kulit biji untuk membentuk lubang berbentuk lingkaran untuk keluarnya pupa. Pupa mengalami metamorfosis di dalam biji kacang menjadi imago dewasa yang bersayap. Imago dewasa mulai muncul dari biji setelah memakan permukaan kulit biji. Siklus hidup kutu kacang *Callosobruchus maculatus* (F.) sepenuhnya adalah 24 hari. Imago jantan mulai mencari betina untuk dikawini dan betina menyimpan sperma dalam spermatheca (struktur

dalam saluran reproduksi betina untuk menyimpan sperma). Serangga jantan akan mengejar betina sampai mereka bisa naik dan bersanggama. Senggama umumnya dimulai dalam 10-15 menit, tetapi ada juga yang membutuhkan waktu 30 menit hingga satu jam. Imago dewasa jantan maupun betina dewasa membutuhkan makanan atau air dengan siklus 10-14 hari, setelah itu akan mati (Beck & Blumer, 2011).



a.



b.

Gambar 2.3a. Terdapat lapisan tipis pada permukaan kacang hijau menandakan adanya pupa di dalam biji yang akan keluar dari dalam biji (Dokumen pribadi, 2018)

2.3b. Biji kacang berlubang hasil dari imago dewasa yang muncul keluar biji (Beck & Blumer, 2011)

Hal ini yang menyebabkan penurunan baik kualitas maupun kuantitas dari biji dalam penyimpanan sehingga biji menjadi tidak cocok untuk dikonsumsi manusia dengan penurunan viabilitas untuk penanaman kembali atau untuk produksi kecambah. Pada kondisi penyimpanan, penyerangan kacang tunggak muncul dalam kurun waktu 3-5 bulan saat penyimpanan.

Callosobruchus maculatus (F.) juga menyebabkan penurunan nilai pasar dan pengecambahan biji.

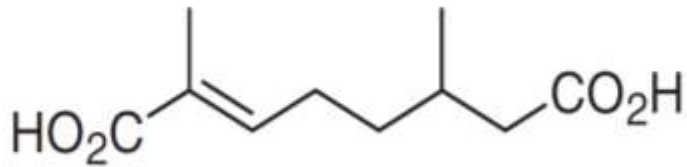
2.2. Senyawa dimethyloctane dioic acid

Feromon merupakan suatu molekul yang digunakan sebagai alat komunikasi antar anggota spesies dan sangat berkaitan erat dengan aktivitas sosial seperti perilaku seksual (Matsuura 2012). Feromon atraktan seks dilepaskan oleh satu jenis kelamin dan menarik jenis kelamin lainnya. Kontak feromon seks juga diproduksi oleh satu jenis kelamin, tetapi bekerja pada jarak dekat untuk memancing perilaku sanggama dengan lawan jenis. Umumnya, atraktan seks feromon sangat mudah menguap, sedangkan feromon seks kontak memiliki volatilitas rendah dan bertindak sebagai kontak atau dorongan *gustatory*.

Feromon seks kutu kacang *Callosobruchus maculatus* (F.) diproduksi oleh betina yang dilakukan dengan identifikasi kopulasi feromon dari fraksi asam ekstrak kasar sekitar 3.000 betina. Feromon menginduksi penonjolan organ genital dengan fraksi netral dari ekstrak, yang mengandung beberapa hidro karbon. Feromon atraktan *Callosobruchus maculatus* (F.) telah diidentifikasi sebagai campuran C16 aldehida (Shimomura, 2017). Feromon seks *Callosobruchus maculatus* (F.) telah dicirikan sebagai campuran asam dikarboksilat monoterpene dan C25– C35 rantai lurus dan metil bercabang hidrokarbon. Feromon kemudian dicirikan sebagai campuran asam lemak rantai pendek (Phillips *et al.* 1996).

Struktur feromon kutu kacang *Callosobruchus maculatus* (F.) diidentifikasi sebagai 2,6-dimethyloctane-1,8-dioic acid bisa disebut senyawa

dimethyloctane dioic acid atas dasar spektrum GC-MS yang sebagian dimurnikan metil ester.



Gambar 2.4 Struktur senyawa feromon dimethyloctane dioic acid (PubChem, 2018)

Feromon seks pada kutu ini digunakan sebagai kekuatan seleksi seksual sesama spesies sebagai sinyal untuk melakukan kawin (Nojima, 2007). Oleh karena itu selama kawin dan berkomunikasi, terutama dalam proses *pre mating*, feromon seks adalah salah satu sinyal yang paling signifikan untuk kesuksesan kawin.

Pada spesies *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) yang merupakan hama penting di gudang penyimpanan pasca panen ini saat kawin terdapat dua jenis feromon seks yang digunakan secara berurutan. Pertama, feromon atraktan seks dihasilkan oleh betina untuk menarik jantan dari kejauhan. Kedua, feromon kontak seks menyebabkan jantan melakukan kopulasi jarak dekat. Melalui mekanisme tersebut senyawa ini akan direspon oleh semua individu yang bersangkutan sehingga insektisida dapat bekerja secara efektif dan efisien.

2.3. Teknologi Nanopartikel

Nanopartikel merupakan teknologi yang saat ini telah menjadi tren baru dalam pengembangan sistem penghantaran obat dan salah satu jenis nanostruktur berukuran koloid dengan diameter berkisar antara 1-999 nm yang

dibuat menggunakan nanoteknologi dan dinyatakan sebagai nanokapsul dan nanosphere (Pedro *et al.* 2013). Nanokapsul adalah sistem vesikular dengan sebuah rongga perangkap suatu bioaktif dan dikelilingi oleh membran polimer, sedangkan nanosphere didefinisikan sebagai sistem matriks dimana komponen bioaktif tersebar secara merata di dalamnya (Reis *et al.* 2006). Menurut Quintanar sebagaimana dikutip oleh Huertas *et al.* (2010). Nanokapsul dan nanosphere dibentuk melalui suatu proses yang disebut sebagai nanoenkapsulasi. Nanoenkapsulasi merupakan suatu proses pengemasan bioaktif dengan material inti dalam sebuah dinding untuk membentuk kapsul pada skala nano (Contri *et al.* 2014). Nanoenkapsulasi memanfaatkan matriks atau bahan pembawa (*carrier*) dengan cara melarutkan, menjebak, mengenkapsulasi, atau menempelkan bahan aktif di dalam matriksnya. Nanoenkapsulat juga dapat membawa bahan aktif pada permukaannya atau mengimbibisi ke dalam membran polimer matriks (Khoee & Yaghoobian 2009). Polimer matriks pembawa yang digunakan dalam pembuatan nanopartikel dibagi menjadi dua kelas yaitu polisakarida dan protein. Polisakarida meliputi senyawa alami dari tumbuhan (seperti pektin, selulosa dan turunannya, amilum dan turunannya, gum arabikum, karagenan, dan alginat) dan polisakarida dari mikroba atau hewan seperti gum xanthan dan turunan kitin/ kitosan.

Nanopartikel mempunyai keunggulan dibandingkan dengan material sejenis dalam ukuran besar (*bulk*) karena ukuran nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika

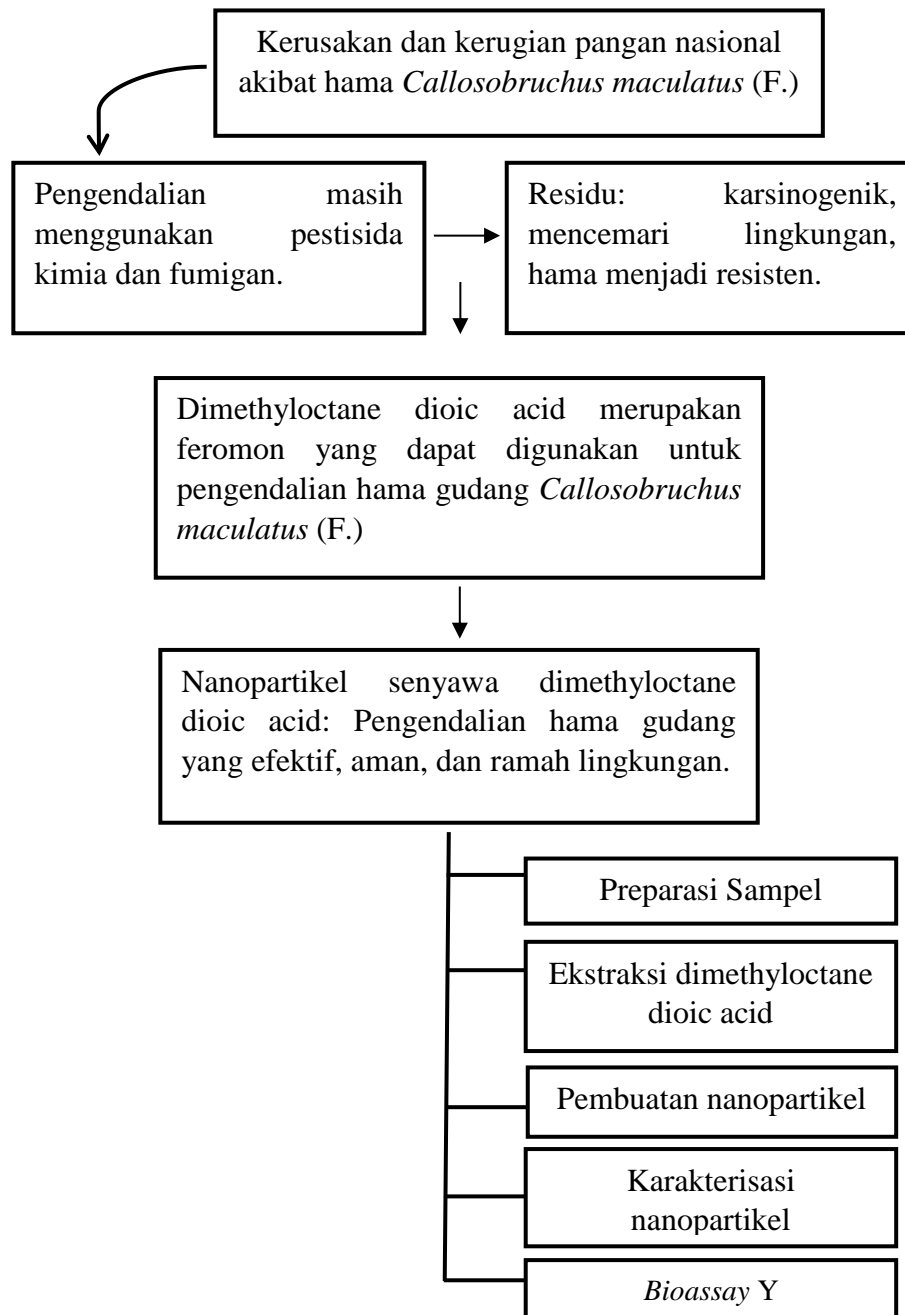
dibandingkan dengan bahan sejenis dalam ukuran besar, sehingga nanopartikel bersifat lebih reaktif.

Salah satu jenis teknologi nanopartikel yaitu nanopartikel kitosan. Penggunaan kitosan dalam bentuk nanopartikel dipilih karena memiliki sifat biokompatibel, biodegradable, toksisitas rendah dan mukoadhesif (Rahayu, 2014). Kitosan mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan yaitu bersifat anti mikroba, *wound healing*, tidak beracun, murah, *biokompatibel*, *biodegradabel*, serta larut air (Rismana *et al.*, 2013). Kitosan merupakan polimer dari N-asetil glukosamin yang dapat diperoleh melalui deasetilasi kitin oleh enzim kitin-deasetilase dari fungi (Kaur *et al.* 2012). Proses deasetilasi yang terjadi dapat mengubah berat molekul kitosan sehingga tidak sama dengan berat molekul kitin pada awalnya. Berat molekul kitosan berkisar antara 3.800-20.000 Dalton dengan derajat deasetilasi 60-100% (Li *et al.* 2013).

Nanopartikel dapat diperoleh melalui beberapa metode antara lain metode emulsi, gelasi ionik, reverse micellar, dan self-assembling. Metode yang paling sederhana adalah metode gelasi ionik dengan mencampurkan bahan utama menggunakan TPP (Sodium Tripolyphosphate), asam klorida cair yang mengandung kitosan (Wu *et al.* 2009) dan stabilizer berupa surfaktan (Shard *et al.* 2014). Metode ini pernah dilakukan oleh Masalova *et al.* (2013) pada proses enkapsulasi protein dan pada sistem enkapsulasi capsaicinoid. Keduanya menggunakan tween 80 sebagai stabilizer dalam proses pembuatan nanopartikel. Nanopartikel yang telah dihasilkan dapat dianalisis morfologi dan ukurannya menggunakan alat bantu khusus. Morfologi dan ukuran nanopartikel dapat dianalisis menggunakan *Transmission Electron Microscopy/ TEM*

(Parida *et al.* 2013), *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform/ DRIFT*
(Khanmohammadi *et al.* 2015), *Zetasizer dan Scanning Electron Microscopy/*
SEM diikuti *Particle Size Analyzer/ PSA* (Ngadiwiyana *et al.* 2017).

2.4. Kerangka Berpikir



Gambar 2.5. Kerangka berpikir penelitian tentang Teknologi Nanopartikel Senyawa Dimethyloctane Dioic Acid sebagai Bahan Aktif Pengendalian Hama Gudang *Callosobruchus maculatus* (F.)

2.5. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah :

1. Dari kedua metode ekstraksi senyawa dimethyloctane dioic acid, diperoleh salah satu metode yang lebih efektif dalam mempengaruhi perilaku hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) yang terukur dari jumlah serangga (%) menuju ke senyawa sebanyak 75% dari jumlah serangga uji dan waktu tempuh serangga menuju ke perlakuan.
2. Senyawa dimethyloctane dioic acid setelah nanopartikel lebih efektif dalam mempengaruhi perilaku hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) dibandingkan dengan senyawa dimethyloctane dioic acid sebelum nanopartikel yang terukur dari jumlah serangga (%) menuju ke senyawa sebanyak 75% dari jumlah serangga uji dan waktu tempuh serangga menuju ke perlakuan.

BAB 5

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh simpulan bahwa :

1. Senyawa dimethyloctane dioic acid dengan metode *headspace sampling* mempengaruhi jumlah ketertarikan serangga menuju perlakuan sebesar 82% dengan rata-rata AI 0,64 dan *body extract* sebesar 32% dengan rata-rata AI - 0,36 dari total keseluruhan serangga uji tiap metode. Sehingga senyawa yang diperoleh melalui metode aerasi *headspace sampling* lebih efektif mempengaruhi perilaku hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.) dibandingkan dengan metode *body extract*.
2. Senyawa dimethyloctane dioic acid sebelum nanopartikel mempengaruhi jumlah ketertarikan serangga sebanyak 80% dalam waktu tempuh 1,84 menit serangga uji menuju ke perlakuan dan setelah nanopartikel sebesar 85% dalam waktu tempuh 2,84 menit dengan nilai signifikansi sebesar 5,2 (<0,05). Sehingga senyawa dimethyloctane dioic acid sebelum maupun setelah nanopartikel tidak terdapat perbedaan dan dapat mempengaruhi respon dan perilaku kutu kacang.

5.2. SARAN

Saran yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

1. Perlu adanya optimasi yang sempurna dalam pembuatan nanopartikel untuk menghindari pengendapan nanopartikel.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengetahui desain perangkat dan kesesuaian perangkat yang akan digunakan untuk pengendalian hama gudang *Callosobruchus maculatus* (F.)

DAFTAR PUSTAKA

- Akter, R., M.A. Samad., F. Zaman, dan M.S. Islam. 2013. Effect of weeding on the growth, yield and yield contributing character of mungbean (*Vigna radiata* L.). *J. Bangladesh Agril. Univ* 11(1) : 53-60.
- Anggraita, P. 2006. Penelitian Bahan Nano (Nanomaterial) Di Badan Tenaga Nuklir Nasional. *Indonesian Journal of Materials Science*. Edisi khusus : 6-8.
- BPSa. 2015. Ekspor dan Impor Barang-Barang. <http://www.bps.go.id>. Diakses pada tanggal 21 Maret 2018.
- BPSb. 2015. Luas Panen Kacang Hijau Menurut Provinsi (ha) tahun 1997 – 2015. <http://www.bps.go.id>. Diakses pada tanggal 22 Maret 2018.
- Barus, W. A., H. Khair, dan M. A. Siregar. 2014. Respon pertumbuhan dan produksi kacang hijau (*Phaseolus radiatus* L.) akibat penggunaan pupuk organik cair dan pupuk TSP. *Agrium* 19(1): 1 - 11.
- Beck C. W. dan Blumer L. S. 2011. A Handbook on Bean Beetles *Callosobruchus maculatus*. *National Science Foundation*. DUE-0535903, DUE-0815135, and DUE-0814373.
- Bull, J. C., *et al.* 2006. Habitat shape, metapopulation processes and the dynamics of multispecies predator-prey interactions. *Journal of Animal Ecology* 75(4), 899-907.22.
- Bustami, J. Bobihoe, dan Jumakir. 2014. Pertumbuhan dan produktivitas kacang hijau sebagai tanaman sela di antara kelapa pada lahan rawa pasang surut Provinsi Jambi. *Prosiding Konferensi Nasional Kelapa VIII, Jambi*.
- CAB Internasional. 2007. *Crop Protection Compendium*. Wallingford, United Kingdom.
- Contri, R.V., L. A. Frank, M. Kaiser, A. R. Pohlmann, dan S. S. Guterres. 2014. The Use of Nanoencapsulation to Decrease Human Skin Irritation Caused by Capsaicinoids. *International Journal of Nanomedicine*, 4(9): 951-962
- Devereau, A.D., I. Gudrups, J.H. Appleby, and P.F. Credland. 2003. Automatic, rapid screening of seed resistance in cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walpers, to the seed beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) using acoustic monitoring. *Journal of Stored Products Research* 39:117-129.

- Devi, M.D. dan Devi N.Victoria. 2014. Biology and Morphometric Measurement of Cowpea Weevil, *Callosobruchus maculatus* fabr. (Coleoptera: Chrysomelidae) in Green Gram. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2 (3): 74-76.
- Dharmaptura, O.S., Hariyadi H., Sunjaya. 2014. Serangan *Tribolium castaneum* pada Beras di Penyimpanan dan Pengaruhnya terhadap Serangan Cendawan dan Susut Bobot. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 10(4): 126-132.
- Duehl, A.J., R.T. Arbogast, Peter, E.A., Teal. Density-Related Volatile Emissions and Responses in the Red Flour Beetle, *Tribolium castaneum*. *Journal of Chemical Ecology*. 37(5): 535-532..
- Funaroa Colin F., Katalin Böröczkyb, Edward L. Vargoc, and Coby Schala. 2017. Identification of a Queen and King Recognition Pheromone in the Subterranean Termite *Reticulitermes flavipes*. *PNAS Latest Articles : USA*.
- Horiba Instruments. 2014. A Guidebook to Particle Size Analysis. 1-800-4 HORIBA.
- Huertas, C. E. M., H. Fessi, dan A. Elaissari. 2010. Polymer-Based Nanocapsules for Drug Delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 385: 113-142.
- Hutabarat NK, S Oemry & MI Pinem. 2015. Uji Efektivitas Termitisida Nabati Terhadap Mortalitas Rayap (*Coptotermes curvignathus* Holmgren) Isoptera: Rhinotermitidae) di Laboratorium. *Jurnal Agroekoteknologi*. No.1. (3): 103- 111 Desember 2015, ISSN: 2337- 6597.
- Iram, N., Muhammad, A., Naheed, A., 2013. Evaluation of Botanical and Synthetic Insecticide for the Control of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Bioassay*. 8(3).
- ITIS. 2018. Bruchinae (Latreille, 1802). Integrated Taxonomic Information System.<http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=678800> ITIS Report accessed 7 Oktober 2018.
- Jacquelyn, L. B., John, A. B. dan Cesar. 2008. Evaluation of Color Trap for Monitoring *Lygus spp*: design, placement, height, time of day, and non target effects. *Crop Protection*, 27 (2): 171-181.
- Kartika T., N. Shimizu, T. Yoshimura. 2015. Identification of Esters as Novel Aggregation Pheromone Components Produced by the Male Powder-Post Beetle, *Lyctus africanus* Lesne (Coleoptera: Lyctinae). *PLoS ONE* 10(11): e0141799.
- Kaur, K., V. Dattajirao, V. Shrivastava, dan U. Bhardwaj. 2012. Isolation and Characterization of Chitosan-Producing Bacteria from Beaches of Chennai, India. *Enzyme Research*, 1-7.

- Kergoat, G.J., J.-F. Silvain, A. Delobel, M. Tuda, K.-W. Anton. 2007. Defining the limits of taxonomic conservatism in host-plant use for phytophagous insects: Molecular systematics and evolution of host-plant associations in the seed-beetle genus *Bruchus* Linnaeus (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 43:251–269.
- Khair, A. S. M. 2002. Studies on the Biology of the Red-Flour beetle *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) in different cereal flours. Thesis Faculty of Agriculture University of Khartoum.
- Khanmohammadi, M., H. Elmizadeh, dan K. Ghasemi. 2015. Investigation of Size and Morphology of Chitosan Nanoparticles Used in Drug Delivery System Employing Chemometric Technique. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 14(3): 665-675.
- Khoe, S. dan M. Yaghoobian. 2009. An Investigation into the Role of Surfactants in Controlling Particle Size of Polymeric Nanocapsules Containing Penicillin-G in Double Emulsion. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44: 2392-2399.
- Li, X., M. Min, N. Du, Y. Gus, T. Hode, M. Naylor, D. Chen, R. E. Nordquist, dan W. R. Chen. 2013. Chitin, Chitosan, and Glycated Chitosan Regulate Immune Response: The Novel Adjuvant for Cancer Vaccine. *Clinical and Development Immunology*, 2013: 1-9.
- Lu Y., Richard, W.B., James, F.C., Yoonseong, P., Michael, J.A., Kenji, M., Kazuaki, A., Shigeyuki, T., Thomas, W.P., 2011. Anatomical Localization and Stereoisomeric Composition of *Tribolium castaneum* Aggregation Pheromones. *Naturwissenschaften*. 98: 755-761.
- Masalova, O., V. Kulikouskaya, T. Shutava, dan V. Agabekov. 2013. Alginate and Chitosan Gel Nanoparticles for Efficient Protein Entrapment. *Physics Procedia*, 40: 69-75.
- Mason LJ, McDonough M. 2012. Biology, behavior, and ecology of stored grain and legume insects. In: Hagstrum DW, Phillips TW, Cuperus G (eds) *Stored product protection*. K State Research and Extension, Kansas, US, pp 7–20
- Matsuura K. 2012. Multifunctional Queen Pheromone and Maintenance of Reproductive Harmony in Termites Colonies. *Journal of Chemical Ecology*. 38(6):746-754.
- Ming, Q.L. dan Sara M. L. 2010. Pheromone Production by Male *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) Is Influenced by Diet Quality. *Entomological Society of America*. 105(5).
- Mustakim, M. 2012. *Budidaya Kacang Hijau secara intensif*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press. 140 hal.

- Naahidi S., M. Jafari, F. Edalat, K. Raymond, A. Khademhosseini, P. Chen. 2013. Biocompatibility of Engineered Nanoparticles for Drug Delivery. *Journal of Controlled Release* 166 (2013) 182–194.
- Ngadiwiyan, Purbowatiningrum, E. Fachriyah, dan Ismiyanto. 2017. *Cinnamomum casia* Extract Encapsulated Nanochitosan as Antihypercholesterol. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 172: 012035.
- Nikalje A.P. 2015. Nanotechnology and Its Applications in Medicine. *Medical Chemistry*. 5(2): 81-89.
- Nojima S., K. Shimomura, H. Honda. 2007. Contact Sex Pheromone Components of the Cowpea Weevil, *Callosobruchus maculatus*. *Journal Chemistry Ecology*. 33: 923-933.
- Norman, K., Siti Nurulhidayah, A., Mohd Basri. 2010. Pheromones Mass Trapping of Bagworm Moths, *Metisa plana* Walker (Lepidoptera: Psychidae) for Control in Mature Oil Palms in Perak, Malaysia. *J. Asia Pasific Entomology*, 13 (2): 101-106.
- Parida, U. K., N. Rout, dan B. K. Bindhani. 2013. *In vitro* Properties of Chitosan Nanoparticles Induce Apoptosis in Human Lymphoma SUDHL-4 Cell Line. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 4: 1118-1127.
- Park, K., Yeo, Y., Swarbrick, J. 2007. Microencapsulation Technology in: Encyclopedia of Pharmaceutical Technology 3rd Edition. New York: Informa Healthcare USA, Inc., p. 2315- 2325.
- Pasaribu P., R. Rustam, A. Sutikno. 2017. Uji Dosis Tepung Buah Sirih Hutan (*Piper aduncum* L) terhadap Mortalitas Kumbang Bubuk (*Sitophilus zeamais* M) pada Jagung di Penyimpanan. Agroteknologi Faperta Universitas Riau Vol.4 No.1.
- Patel, R., B. Gajra, R. H. Parikh, dan G. Patel. 2016. Ganciclovir Loaded Chitosan Nanoparticles: Preparation and Characterization. *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*, 7(6): 2-8.
- Pedro, A.S., I.E. Santo, C.V. silva, C. Deton, dan E. Albuquerque. 2013. The Use of Nanotechnology as an Approach for Essential Oil-Based Formulations with Antimicrobial Activity. Dalam *Microbial Pathogens and Strategies for Combating Them: Science, Technology and Education* (A. Mendez-Vilas, Ed.). Zurbaran, Badajoz, Spain: FORMATEX Research Center.
- Phillips, T. W., Phillips, J. K., Webster, F. X., Tang, R., dan Burkholder, W. E. 1996. Identification of sex pheromones from cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus*, and related studies with *C. analis* (Coleoptera: Bruchidae). *J. Chem. Ecol.* 22:2233–2249.
- PubChem. 2018. Compound Summary for CID 193373. URL : https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2_6-Dimethyloctane_dioic_acid. (diakses tanggal 23/11/2018)

- Raghavendra D. dan M. Loganathan. 2017. Effect of Pulse Beetle (*Callosobruchus maculatus* L.) Infestation on Quality of Pigeonpea Seed. *Internasional Journal of Pure & Applied Bioscience* 5 (6): 976-980.
- Rahayu A. 2014. Formulasi Tablet dari Nanopartikel Ekstrak Daun Sambiloto (*Andrographis paniculata* [Burn.f.] Ness) dengan Metode Cetak Langsung. Jakarta: Fakultas Farmasi Universitas Pancasila.
- Rahman *et al.* 2007. Ethanolic Extract Of Melgota (*Nacaranga Postulata*) For Repellent Insectisidal Activity Against Rice Weevil (*Sitophilus Oryzae*). *Arf J. Biotechnology*, Vol 6(4), pp. 379-383.
- Rawat, M.D., Singh, and S. Saraf. 2006. Nanocarriers: Promising Vehicle for Bioactive Drugs. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 29.
- Reis, C. P., R. J. Neufeld, A. J. Ribeiro, dan F. Veiga. 2006. Nanoencapsulation I. Methods for Preparation of Drug-Loaded Polymeric Nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 2: 8-21.
- Rismana, E., Susi, K., Idah, R., Nizar, & Erna, Y. 2013. Pengujian Stabilitas Sediaan *Antiacne* Berbahan Baku Aktif Nanopartikel Kitosan/ Ekstrak Manggis-Pegagan. *Buletin Penelitian Kesehatan*. 41(4): 207-216.
- Sahil, K., B. Prashant, M. Akanksha, S. Premjeet, dan R. Devashish. 2011. Gas Chromatography-Mass Spectrometry: Applications. *Internasional Journal of Pharmaceutical and Biological Archives*, 2(6): 1544-1560.
- Shard, P., A. Bhatia, dan D. Sharma. 2014. Optimization and Effects of Physicochemical Parameters on Synthesis of Chitosan Nanoparticles by Ionic Gelation Technique. *International Journal of Drug Delivery*, 6: 58-63.
- Shimomura, K., Shimpe, M, Kanju, O., Shunsuke, Y., dan Shimo. 2017. Identification of Cuticular Compounds Collected from *Callosobruchus rodhesanus* (pic) Eliciting Heterospecific Mating Behaviour with Male *Callosobruchus maculatus* (F.) *Chemoecology*. 27:65-73.
- Shimura, k., Kazuaki, A., Arata, Y., Takanori, M., Shunsuke, Y., dan Kanju, O. 2010. Contact Sex Pheromone Components of the Seed Beetle, *Callosobruchus analis* (F.). *J. Chem Ecol.* 36:955-965.
- Soundarajan, R. P., *et al.* 2012. Biological control of bruchid *Callosobruchus maculatus* (F.) in blackgram. *Journal of Biopesticides*. 5(Supplementary):192-95.
- Sukanata I. K. 2014. Pencegahan Serangga Hama Bruchus dengan Penggunaan Pestisida Nabati. *Jurnal Agrijati* Vol. 26 No.1.
- Sunjaya dan Widayanti S. 2006. *Pengelolaan Hama Gudang Terpadu*. Bogor: KLH, UNIDO, SEAMEO BIOTROP.
- Tiyaboonchai, W. 2003. Chitosan Nanoparticles : A Promising System for Drug Delivery. *Naresuan University Journal*. 11(3): 51-66.

- Ummah A.K. 2012. *Kajian Kondisi Komoditas, Serangga Hama Gudang dan Upaya Pengendaliannya (Studi tentang Penyimpanan Komoditas di Gudang Bulog 105 Bawen Sub Dolog Wilayah I Semarang)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Wu, Y., Y. J. Wang, G. S. Luo, dan Y. Y. Dai. 2009. In Situ Preparation of Magnetic Chitosan Nanoparticles for Lipase Immobilization by Cross-Linking and Oxidation in Aqueous Solution. *Bioresource Technology*, 100(14): 3459-3464.
- Yang, W., J. Fu, T. Wang, dan N. He. 2009. Chitosan/sodium tripolyphosphate nanoparticles: preparation, characterization and application as drug carrier. *Journal of Biomedical Nanotechnology*. 5(5): 591-595
- Yusuf, A. U., Dike, M. C., Adebitan, S. A. and Ahmed, B. I. 2011. Comparative efficacy of seven plant products on the cowpea bruchid, *Callosobruchus maculatus* development and damage. *Journal of Biopesticides*, 4(1): 19-26.