



**POTENSI β -ASARON DALAM SILIKA NANOPARTIKEL SEBAGAI
INSEKTISIDA BOTANI TERHADAP MORTALITAS DAN
PERKEMBANGAN *Crocidolomia pavonana* F.
(Lepidoptera: Crambidae)**

SKRIPSI

Oleh :

MAZAYA DZATI HULWANI

NIM 131810401050

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

2018



**POTENSI β -ASARON DALAM SILIKA NANOPARTIKEL SEBAGAI
INSEKTISIDA BOTANI TERHADAP MORTALITAS DAN
PERKEMBANGAN *Crocidolomia pavonana* F.
(Lepidoptera: Crambidae)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Biologi (S1) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

**MAZAYA DZATI HULWANI
NIM 131810401050**

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT. yang senantiasa memberikan petunjuk dan ridlo-Nya, serta Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi tauladan bagi umatnya. Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. almarhum ayahanda Erfan Rosyidi dan Ibunda Lutfiyah yang tercinta, terima kasih atas kasih sayang, semangat, do'a restu, pengorbanan dan didikan yang tercurah dalam membimbing putri kalian hingga dapat tumbuh dan berdiri dengan tekad kuat demi tercapainya harapan dan cita-cita;
2. adikku Muhammad Qoyis Hirzi dan Nuriyah Faradisa Jinan, terima kasih atas do'a, dorongan dan motivasi yang tidak henti-hentinya hingga menjadi kekuatan dalam hidup kakak kalian;
3. guru-guruku sejak Taman Kana-kanak sampai perguruan tinggi yang telah mengajar dan mendidik dengan ikhlas;
4. almamater Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Allah lah hendaknya kamu berharap”

(QS. Al-Insyirah: 6-8)*

“Allah mengangkat derajat orang-orang yang beriman diantara kalian serta orang-orang yang menuntut ilmu beberapa derajat”

(QS. Al-Mujadalah: 11)*



* Kementerian Agama Republik Indonesia, Yayasan Penyelenggara Penterjemah/ Penafsir Al-Qur'an. 1971. *Mushaf Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta : Nur Publishing.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Mazaya Dzati Hulwani

NIM : 131810401050

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Potensi β -Asaron Dalam Silika Nanopartikel Sebagai Insektisida Botani Terhadap Mortalitas Dan Perkembangan *Crocidolomia pavonana* F. (Lepidoptera: Crambidae)” adalah benar-benar hasil karya ilmiah sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Penelitian didanai sepenuhnya oleh Purwatiningsih, M.Si., Ph,D dan dengan sumber dana mandiri yang tidak dapat dipublikasikan tanpa ijin dari pihak yang mendanai. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Juli 2018

Yang menyatakan,

Mazaya Dzati Hulwani

NIM 131810401050

SKRIPSI

**POTENSI β -ASARON DALAM SILIKA NANOPARTIKEL SEBAGAI
INSEKTISIDA BOTANI TERHADAP MORTALITAS DAN
PERKEMBANGAN *Crocidolomia pavonana* F.
(Lepidoptera: Crambidae)**

Oleh:

Mazaya Dzati Hulwani

NIM 131810401050

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Purwatiningsih, M.Si., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Dra. Susantin Fajariyah, M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Potensi B-Asaron Dalam Silika Nanopartikel Sebagai Insektisida Botani Terhadap Mortalitas Dan Perkembangan *Crocidolomia pavonana* F. (Lepidoptera: Crambidae)**”, karya Mazaya Dzati Hulwani telah diuji dan disahkan pada:

hari :
tanggal :
tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,

Anggota I,

Purwatiningsih, M.Si., Ph.D.
NIP 197505052000032001

Dra. Susantin Fajariyah, M.Si.
NIP 196411051989022001

Anggota II,

Anggota III,

Drs. Siswanto, M.Si.
NIP 196001161993021001

Kahar Muzakhar, S.Si., Ph.D.
NIP 196805031994011001

Mengesahkan

Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Potensi β -Asaron Dalam Silika Nanopartikel Sebagai Insektisida Botani Terhadap Mortalitas Dan Perkembangan *Crocidolomia pavonana* F. (Lepidoptera: Crambidae); Mazaya Dzati Hulwani, 131810401050; 2018; 35 halaman; Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Serangga *Crocidolomia pavonana* F. merupakan salah satu serangga dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman kubis mencapai 100%. Pengendalian terhadap *C. pavonana* masih mengandalkan pada insektisida sintetis yang dapat menyebabkan efek buruk terhadap lingkungan. Alternatif yang dapat digunakan untuk menghadapi masalah tersebut yaitu dengan menggunakan insektisida botani. Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai insektisida botani adalah *Acorus calamus*. Kandungan terbesar dari *A. calamus* adalah β -asaron yang memiliki sifat mudah menguap dan mudah terurai oleh sinar UV. Hal ini menjadi tantangan para ilmuwan untuk membuat formulasi yang dapat menstabilkan asaron agar tidak mudah menguap dan terdegradasi oleh sinar UV. Salah satunya menggunakan silika nanopartikel. Saat ini sedang dilakukan kajian tentang insektisida botani berupa senyawa β -asaron yang dikombinasikan dengan silika nanopartikel dengan konsentrasi dan waktu yang berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keefektifan formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi yang lebih rendah yaitu 0,025% daya serap 30 hari terhadap mortalitas dan perkembangan *C. pavonana*.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Zoologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 1 kontrol berupa akuades, 3 perlakuan berupa β -asaron 0,1%, silika nanopartikel dan formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari. Metode yang digunakan adalah metode celup. Pengamatan mortalitas dan perkembangan dilakukan mulai larva instar 2 hingga imago. Data mortalitas yang didapatkan dari hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk diagram batang (histogram). Data perkembangan *C. pavonana* akan diolah dengan analisis statistik *GLM (General Linear Model) – Repeated Measures*.

Hasil penelitian menunjukkan formulasi senyawa β -asaron dalam silika nanopartikel konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari berpengaruh terhadap peningkatan mortalitas *C. pavonana*. Pada perlakuan β -asaron dalam silika nanopartikel dapat menyebabkan kematian pada stadia larva sebesar 31%, stadia papupa sebesar 62%, pada stadia pupa sebesar 66%, dan pada stadia imago mencapai 82%. Perlakuan β -asaron dalam silika nanopartikel juga berpengaruh terhadap perkembangan *C. pavonana* yaitu menurunkan angka pembetulan pupa dan imago serta meningkatkan morfologi abnormal pada serangga uji *C. pavonana*.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Potensi B-Asaron Dalam Silika Nanopartikel Sebagai Insektisida Botani Terhadap Mortalitas Dan Perkembangan *Crocidolomia pavonana* F. (Lepidoptera: Crambidae)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan do'a dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Purwatiningsih, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Utama dan Dra. Susantin Fajariyah, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian guna memberikan bimbingan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
2. Drs. Siswanto, M. Si. selaku Dosen Penguji I dan Kahar Muzakhar, S.Si., Ph. D. selaku Dosen Penguji II, yang telah membantu memberikan kritik serta saran dalam penulisan skripsi ini;
3. dosen-dosen yang saya hormati atas nasihat, bimbingan, dan ilmu yang telah diberikan selama menjadi mahasiswa;
4. seluruh keluarga besar yang saya sayangi, terutama Tante Ifa, Tante Roudlo, Om Musleh, Tante Ica, Om Adi, Om Yudi, Om Fahrur, terima kasih atas bantuan baik tenaga, materi ataupun moril, nasehat dan motivasi demi terselesainya pendidikan yang penulis jalani;
5. rekan-rekan yang tergabung dalam Entomology Research Team, yaitu Robby Septiawan, Firna Putri Mandasari, Raodatul Jannah, Paramita Pratiwi, Mbak Azizah, Mbak Armi, Mas Bayu, Mbak Prilla, Mbak Ella, Mbak Umi, Mbak Selvi, Mas Mirza, Rini, Fisel, terima kasih atas do'a, kerjasama, bantuan dan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini;
6. sahabat-sahabat PowerPuff Girls yang tercinta, yaitu : Ratih Kumalararas, Firna Putri Mandasari, Talitha Azza Meydina Putri, terima kasih atas segala

bantuan, do'a, masukan, semangat, dan dampingan yang kalian berikan kepada penulis, terimakasih untuk kalian yang rela meluangkan waktu kalian untuk mendengarkan keluh kesah penulis selama penyusunan skripsi;

7. sahabat-sahabat angkatan 2013 (BIOGAS) yang tercinta, terutama Lailatul Badriyah, Putri Mustika Wulandari, Desi Wahyung Kartikasari, Clarista Mugistika, Lidia Maziyyatun Ni'mah, Siti Fatimah, Fresha Aflahul Ula dan lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas segala bantuan, semangat, do'a yang telah kalian berikan, terima kasih telah memberikan banyak kenangan suka maupun deka selama menjalani kuliah di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
8. semua pihak yang telah memberikan sumbangan tenaga, semangat, pikiran dan do'a yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis dalam kelancaran penulisan sripsi ini.

Penulis juga menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis beharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 23 Juli 2018

Penulis

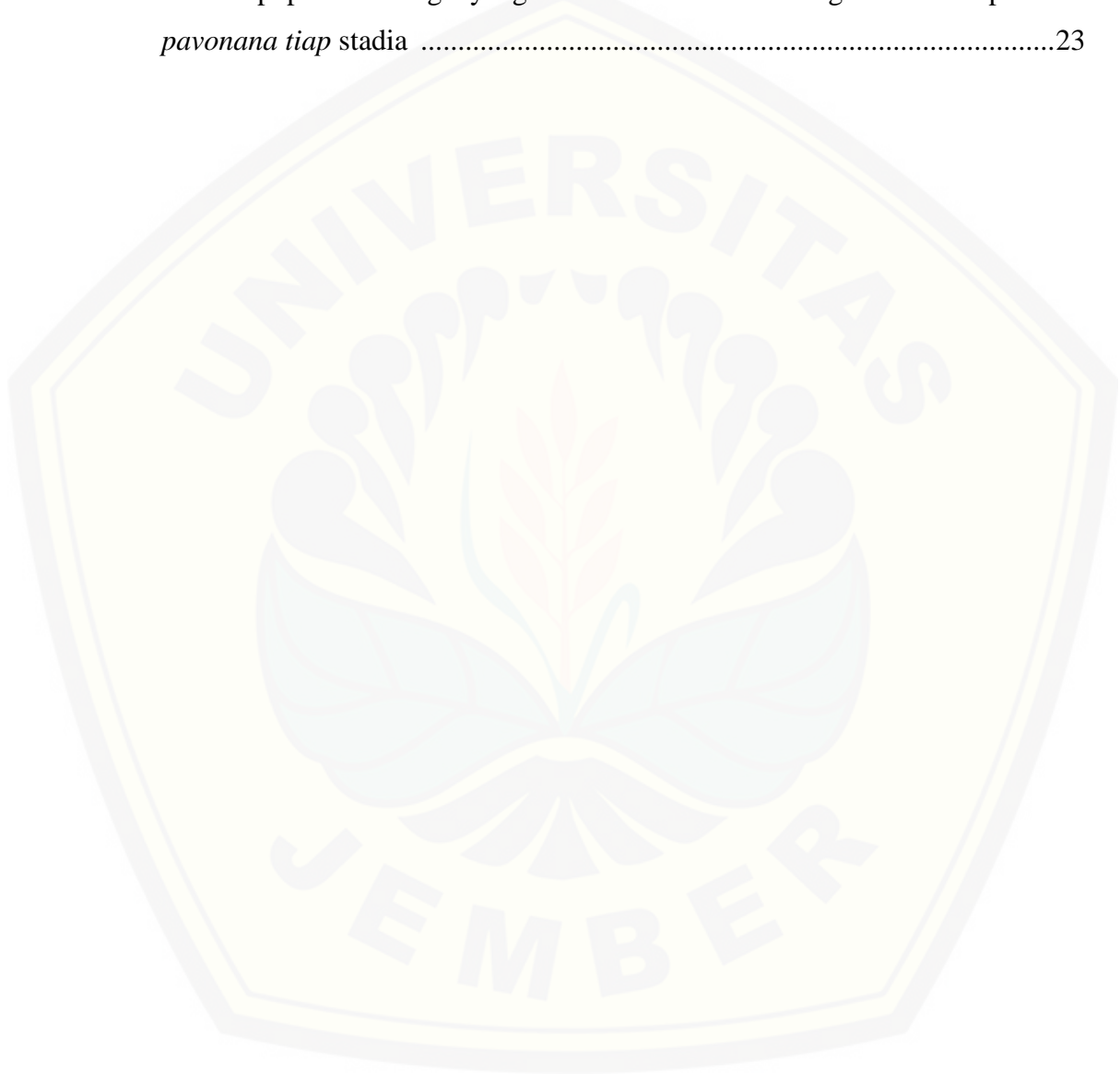
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Insektisida Botani dan Senyawa β -asaron	4
2.2 Silika Nanopartikel	5
2.2.1 Nanopartikel	5
2.2.2 Senyawa Silika nanopartikel	6
2.3 <i>Crocidolomia pavonana</i>	8
2.3.1 Kalsifikasi <i>C. pavonana</i>	8
2.3.2 Deskripsi <i>C. pavonana</i>	8
BAB 3. METODE PENELITIAN	11
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan	11

3.3 Rancangan Penelitian	11
3.4 Persiapan Penelitian	12
3.4.1 Koleksi larva <i>C. pavonana</i>	12
3.4.2 Rearing larva <i>C. pavonana</i>	12
3.5 Pelaksanaan Penelitian	13
3.6 Analisis Data	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Pengaruh β-asaron dalam Silika Nanopartikel terhadap Mortalitas Larva <i>Crocidolomia pavonana</i>	16
4.2 Pengaruh β-asaron dalam Silika Nanopartikel terhadap Mortalitas Prapupa, Pupa dan Imago <i>C. pavonana</i>	19
4.3 Pengaruh β-asaron dalam Silika Nanopartikel terhadap Perkembangan <i>Crocidolomia pavonana</i>	21
BAB 5. PENUTUP	25
5.1 Kesimpulan	25
5.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Susunan Konsentrasi Tiap Formulasi	13
4.1 Jumlah pupa dan imago yang terbentuk serta morfologi abnormal pada <i>C. pavonana</i> tiap stadia	23



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur Kimia β -asarone	4
2.2 Bentuk Slika Nanopartikel	6
2.3 Siklus Hidup <i>C. Pavonana</i>	10
3.1 Diagram Alir Rearing Larva <i>C. pavonana</i> sampai Pelaksanaan Penelitian	14
4.1 Rata-rata Mortalitas Larva <i>C. pavonana</i> pada 24, 72 dan 216 Jam setelah Perlakuan	16
4.2 Morfologi Larva <i>C.pavonana</i> yang Mati	19
4.3 Rata-rata Mortalitas Prapupa, Pupa dan Imago <i>C. pavonana</i> pada 312, 480 dan 672 Jam setelah Perlakuan	20
4.4 Morfologi Pupa <i>C. pavonana</i> yang Mati	21
4.5 Rata-rata Jumlah <i>C. pavonana</i> yang Hidup setiap Waktu Instar setelah Perlakuan atau Pengaplikasian Formulasi	22
4.6 Morfologi Imago <i>C. pavonana</i>	24

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
4.1 Hasil Analisis Statistik Perkembangan <i>C. pavonana</i>	32



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Serangga *Crocidolomia pavonana* F. merupakan salah satu serangga yang banyak dijumpai pada tanaman sayuran famili Brassicaceae. Pada stadia larva, serangga ini hidup berkelompok dan membutuhkan banyak makanan untuk melangsungkan hidupnya. Aktivitas larva *C. pavonana* dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman kubis mencapai 100% bila tidak dilakukan pengendalian (Abizar, 2010).

Pengendalian terhadap *C. pavonana* masih mengandalkan pada insektisida sintetis. Penggunaan insektisida sintetis yang berlebihan dapat menyebabkan efek buruk terhadap lingkungan. Hal ini karena insektisida sintetis meninggalkan residu dalam jumlah yang cukup banyak di lingkungan, sehingga dapat mengkontaminasi lahan/ladang, udara maupun perairan. Insektisida sintetis menyebabkan kematian pada organisme target dan non target, yang menyebabkan penurunan populasi berbagai makhluk hidup (Dadang *et al.*, 2011). Efek lain dari Insektisida sintetis yaitu dapat menimbulkan resistensi terhadap serangga target (Sulistiyowati *et al.*, 2007).

Alternatif yang dapat digunakan untuk menghadapi masalah tersebut yaitu dengan menggunakan insektisida yang terbuat dari tumbuhan atau insektisida nabati / botani. Insektisida botani mengandung bahan aktif bersifat insektisida yang berasal dari metabolit sekunder tumbuhan. Sifat senyawa metabolit tersebut adalah mudah terurai di alam (biodegradable), selektif terhadap musuh alami dan serangga menguntungkan lainnya (Dadang dan Prijono, 2011).

Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai insektisida botani adalah *Acorus calamus*. Tanaman tersebut yang memiliki kandungan terdiri dari 82 % asaron, 5 % kalamenol, 4 % kalamina, 1 % kalameon, 1% metileugenol, dan 0,3 % eugenol (Hasnah *et al.*, 2012). Kandungan terbesar dari *A. calamus* adalah α -asaron dan β -asaron (Purwatiningsih dan Nyoman, *Unpublished Data*). Senyawa tersebut memiliki sifat mudah menguap dan mudah terurai oleh sinar UV. Hal tersebut menyebabkan bioaktivitas dari asaron akan semakin melemah di

lingkungan akibat adanya radiasi sinar UV (Zuba dan Byrska, 2012). Efektivitas asaron sebagai insektisida terhadap serangga juga menurun seiring dengan semakin lemahnya bioaktivitas dari asaron tersebut (Chen *et al.*, 2016).

Hal ini menjadi tantangan para ilmuwan untuk membuat formulasi yang dapat menstabilkan asaron agar tidak mudah menguap dan terdegradasi oleh sinar UV. Salah satunya menggunakan nanopartikel. Nanopartikel seperti Zn, Cu, dan Si memiliki sifat yang dapat menghamburkan dan memantulkan sinar UV (Chen *et al.*, 2016). Salah satu nanopartikel yang mudah didapatkan yaitu Silika. Silika nanopartikel bersifat dapat memantulkan sinar UV, dan memiliki tingkat stabilitas yang tinggi di alam (Huan dan Qing, 2014). Jadi diharapkan dengan adanya kombinasi antara insektisida botani dalam hal ini β -asaron dengan silika nanopartikel akan melindungi β -asaron dari penguraian akibat sinar UV sehingga dapat meningkatkan bioaktivitas β -asaron sebagai insektisida botani untuk mengendalikan hama, khususnya *C. pavonana*.

Saat ini sedang dilakukan kajian tentang insektisida botani berupa senyawa α -asaron dan β -asaron yang dikombinasikan dengan silika nanopartikel dengan konsentrasi dan waktu yang berbeda (Purwatiningsih dan Rumhayati, *Unpublished Data*). Penelitian Jannah (2017) menggunakan formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,1% daya serap 30 hari menyebabkan mortalitas larva *C. pavonana* sebesar 47%.

Berdasarkan uraian diatas perlu dilakukan uji hayati untuk mengetahui keefektifan formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi yang lebih rendah yaitu 0,025% daya serap 30 hari terhadap mortalitas dan perkembangan *C. pavonana*.

1.2 Perumusan Masalah

Apakah formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari dapat berpengaruh terhadap mortalitas dan perkembangan *C. pavonana* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terkandung dalam penelitian ini adalah :

1. Serangga yang digunakan dalam penelitian ini adalah larva *C. pavonana* instar 2.
2. Formulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari dapat berpengaruh terhadap mortalitas dan perkembangan *C. pavonana*.

1.5 Manfaat

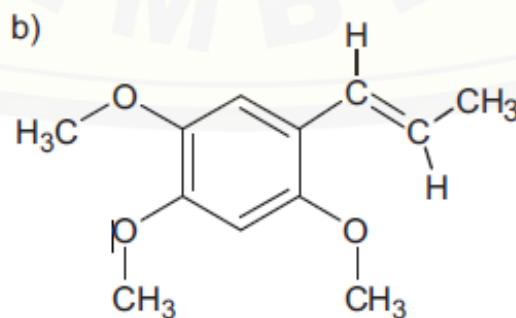
Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan informasi tentang keefektifan dan tingkat toksisitas dari formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari sebagai insektisida botani.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Insektisida Botani dan Senyawa β -asaron

Insektisida botani merupakan insektisida yang berasal dari tumbuhan dan mengandung senyawa aktif berupa metabolit sekunder. Insektisida nabati bersifat mudah terurai di alam (*biodegradable*), aman terhadap organisme non sasaran, dapat dipadukan dengan komponen penendalian hama lainnya, memperlambat resistensi hama (Dadang dan prijono, 2008). Tumbuhan yang menghasilkan senyawa aktif berupa metabolit sekunder seperti flavonoid, terpenoid, alkaloid, saponin, dan lainnya, memiliki fungsi terhadap serangga sebagai penolak kehadiran serangga (*repellent*), anti makan (*antifeedant*), menghambat perkembangan serangga dan sebagai racun (Arneti *et al.*, 2011).

Salah satu tumbuhan yang menghasilkan senyawa aktif berupa metabolit sekunder adalah tanaman dringo (*Acorus calamus*) yang mengandung minyak atsiri antara lain acorenone, calameone, acoradin, acpretine, lucenin dan asarone (α -asarone dan β -asarone). Kandungan terbesar dari *A. calamus* adalah α -asaron dan β -asaron (Yende *et al.*, 2008). Kandungan minyak atsiri tersebut bervariasi tergantung dari genotipe dan level ploidi tanamannya. Dringo diploid tidak mengandung β -asaron, sedangkan pada dringo triploid kadar β -asaron sebesar 3-9%. Dringo tetraploid yang berasal dari India, Taiwan, dan Indonesia mengandung β -asaron mencapai 96% (Bertea *et al.*, 2005). Struktur kimia β -asarone merupakan *cis* asarone (*cis*-2,4,5-trimethoxy-1-propenylbenzene) (Ganjewala dan Sivastava, 2011) (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Struktur Kimia β -asarone (Sumber : Zuba dan Byrska, 2012)

Kandungan β -asaron pada rimpang dringo memiliki efek antifeedant pada serangga, hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian Vattikonda *et al.* (2015), yang memberikan perlakuan pada larva *Papilio demoleus*. Pemberian β -asaron dengan konsentrasi terendah yaitu 50 ppm memberikan efek antifeedant sebesar 52,58%, sedangkan pada konsentrasi tertinggi yaitu 200 ppm memberikan efek antifeedant sebesar 75,85%. β -asaron juga menghambat pertumbuhan dan perkembangan larva dengan menunda pengeluaran hormon ecdyson serta menghambat perkembangan gonad (antigonadal) (Saxena *et al.*, 1977). β -asaron juga bersifat sebagai repellent dan memiliki sifat toksik terhadap serangga (Schmidt dan Streloke, 1994).

2.2 Silika Nanopartikel

2.2.1 Nanopartikel

Nanopartikel merupakan formulasi suatu partikel yang berukuran nanometer atau skala per seribu mikron (Tiyaboonchai, 2003). Karena ukurannya yang sangat kecil menghasilkan visualisasi yang relatif transparan, dan peningkatan luas permukaan sehingga menyebabkan tingkat pengendapan yang relatif lama karena resultan gaya kebawah akibat gravitasi sudah jauh berkurang (Ober dan Gupta, 2011).

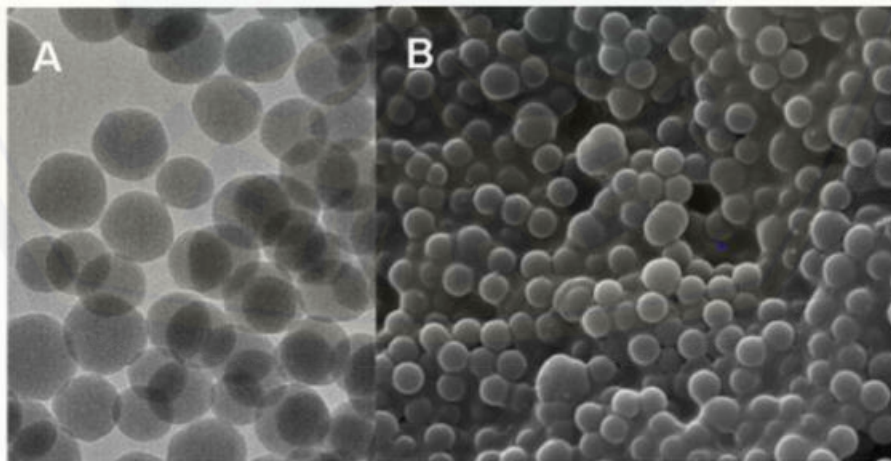
Beberapa kelebihan nanopartikel adalah kemampuan untuk menembus ruang-ruang antar sel (Buzea *et al.*, 2007), kemampuan untuk menembus sel yang tinggi baik melalui difusi maupun opsonifikasi, dan fleksibilitasnya yang tinggi sehingga mudah untuk dikombinasikan dengan teknologi lain. Hal ini dikarenakan peningkatan luas permukaan yang dapat meningkatkan daya afinitas nanopartikel itu sendiri (Kawashima *et al.*, 2000).

Formulasi nanopartikel umumnya dikombinasikan dengan formulasi bahan aktif lainnya, hal ini dapat memberikan efek yang baik yaitu dapat meningkatkan kelarutan bahan aktif yang sukar larut dan melindungi bahan aktif tersebut agar tidak mudah terdegradasi (Ragaei dan Sabry, 2014). Keuntungan pengaplikasian nanopartikel untuk dijadikan sebagai kombinasi dalam insektisida botani adalah meningkatkan kelarutan formulasi bahan aktif akan lebih mudah tersebar merata

dalam larutan, hal ini dapat mempermudah persebaran bahan aktif menuju target sasaran dan mengurangi kemungkinan bahan aktif mengumpul di daerah tertentu, meningkatkan efektifitas sifat insektisida bahan aktif itu sendiri dan mengurangi dampak kerusakan lingkungan karena tidak akan berpengaruh pada organisme non target maupun tumbuhan itu sendiri (Goshen dan Magdassi, 2012).

2.2.2 Senyawa Silika Nanopartikel

Silika terbentuk dari hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan *feldspar*, yang berwujud bubuk putih. Silika merupakan senyawa yang tidak reaktif dan hanya dapat dilarutkan dalam asam kuat, contohnya dengan menggunakan asam klorida (HCl) (Hadi *et al.*, 2011). Cara mensintesis silika nano partikel memerlukan perlakuan khusus dengan menggunakan beberapa metode seperti metode *sol-gel process*, metode *gas phase process*, metode kopresipitasi, metode *emulsion techniques*, dan metode plasma *spraying & foging process* (polimerisasi silika terlarut menjadi organo silika) (Hayati dan Astuti, 2015). Menurut penelitian Camporotondo *et al.* (2013) hasil Transmission Electron Microscope (TEM) dan Scanning Electron Microscope (SEM) silika nanopartikel menunjukkan bahwa bentuk dari silika nanopartikel yaitu berbentuk bulat (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Bentuk silika nanopartikel (A) Transmission Electron Microscope; (B) Scanning Electron Microscope (SEM) silica nanopartikel (Sumber : Camporotondo *et al.*, 2013).

Silika nanopartikel memiliki beberapa sifat diantaranya permukaannya lebih luas jika dibandingkan partikel silika, tahan terhadap suhu panas tinggi, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan tahan terhadap reaksi kimia (*inert*) sehingga dapat digunakan sebagai prekursor katalis, absorben dan filter komposit (Kalapathy *et al.*, 2002), bersifat biokompatibel terhadap manusia (Yuan *et al.*, 2010), dapat memantulkan sinar ultra violet, dan memiliki tingkat stabilitas yang tinggi (Huan dan Qing, 2014).

Silika nanopartikel dapat menyebabkan kematian pada serangga karena silika menyerang langsung ke saluran pencernaan dan menyebabkan dehidrasi atau penyumbatan spirakel dan trakea sehingga menyebabkan pembengkakan pada integumen. Kontak langsung serangga dengan silika juga menyebabkan kerusakan pada mantel lilin pelindung kutikula dan kutikula serangga (Rouhani *et al.*, 2012).

Pengaplikasian silika nanopartikel sebagai insektisida dibuktikan oleh penelitian El-Bendary dan El-Helaly (2013) terhadap *Spodoptera littoralis*, hasil menunjukkan bahwa silika nanopartikel menyebabkan berkurangnya peletakan telur dan daya tetas telur, memberikan efek antifeedant pada larva sampai 50% serta bersifat toksik sehingga dapat menyebabkan kematian. Menurut Goussain *et al.* (2002), mortalitas larva *Spodoptera frugiperda* meningkat pada tanaman jagung yang telah dipupuk dengan silika. Senyawa silika juga menimbulkan efek antifeedant dan menghambat pertumbuhan serangga *Spodoptera frugiperda*.

Selain itu silika nanopartikel juga membentuk efek sinergis jika dicampurkan atau digabungkan dengan β -asaron terhadap *C. pavonana* sebagai insektisida botani. Hal ini telah terbukti dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh Jannah (2017), yang menunjukkan bahwa tingkat kematian pada larva yang diaplikasikan dengan β -asaron dalam silika nanopartikel 0,1 % daya serap 30 hari setelah 216 jam aplikasi sebesar 47%, hasil ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengaplikasian silika nanopartikel tanpa campuran senyawa aktif β -asaron yang dapat menyebabkan kematian larva sebesar 40 %.

2.3 *Crocidolomia pavonana*

2.3.1 Klasifikasi *C. pavonana*

Klasifikasi *C. pavonana* menurut Myers *et al.* (2017) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Phylum	: Arthropoda
Class	: Insecta
Ordo	: Lepidoptera
Family	: Crambidae
Genus	: <i>Crocidolomia</i>
Species	: <i>Crocidolomia pavonana</i>

2.3.2 Deskripsi *C. pavonana*

Larva *C. pavonana* merupakan salah jenis satu hama penting yang menyerang tanaman sayuran family Brassicasea. Larva dapat hidup pada Brassicasea liar maupun yang dibudidayakan. Larva hidup secara berkelompok dan dapat menghabiskan seluruh daun dan hanya meninggalkan tulang daun saja. Kerusakan pada kubis yang disebabkan oleh larva ini dapat mencapai 10 – 100 % sehingga dapat menimbulkan gagal panen (Herminanto, 2006).

Telur diletakkan secara berkelompok dan saling tumpang tindih pada permukaan bawah daun, di tepi daun, atau di dekat tulang daun. Banyaknya telur dalam tiap kelompok sangat bervariasi. Ukuran telur kurang lebih 2,6 mm sampai 4,3 mm. Telur yang baru diletakkan akan berwarna hijau dan akan berubah menjadi kuning kehijauan setelah 2 hari, kemudian berubah warna menjadi coklat kemerahan, dan terakhir akan berubah warna menjadi kelabu sebelum menetas. Lama masa telur berkisar antara tiga sampai enam hari dan rata-rata empat hari (Korinus, 1995; Sastrosiswojo *et al.*, 2005).

Larva *C. pavonana* berkembang melalui empat instar (Priyono dan Hasan, 1992). Perkembangan larva instar satu sampai instar 4 memerlukan waktu rata-rata 7-8 hari pada suhu 25-28 °C dan kelembaban nisbi 60-70%. Larva *C. pavonana* berwarna hijau dan terdapat garis memanjang berwarna keputihan pada

setiap sisi lateral. Sebagian daerah dorsal larva instar empat berubah warna dari hijau menjadi coklat pada saat akan menjadi pupa (Othman, 1982). Larva instar awal *C. pavonana* memakan pucuk daun dan meniggalkan lapisan epidermis. Daun yang terserang oleh larva instar 1 dan 2 tampak berupa bercak putih yang merupakan lapisan epidermis permukaan atas daun (Sastosiswojo *et al.*, 2005). Setelah mencapai instar 3, larva menyerang bagian yang lebih dalam kemudian menggerak ke dalam crop dan menghancurkan titik tumbuh tanaman (Kalshoven, 1981). Pupa larva *C. pavonana* berwarna kuning kecoklatan dan berukuran lebar 3 mm serta panjang 10 mm. Masa pupa berkisar 9-13 hari dan rata-rata 10 hari pada suhu udara 26-33 °C (Sastrosiswojo *et al.*, 2005).

Imago betina berwarna coklat dengan sayap depan berwarna sedikit gelap, sedangkan imago jantan berwarna coklat lebih gelap dibandingkan imago betina dengan sayap depan bercorak yang terlihat jelas. Imago betina memiliki abdomen yang lebih besar dan ujung abdomen yang runcing dibandingkan dengan abdomen jantan yang lebih pendek dan ujung abdomennya lebih tumpul, serta lebih banyak ditumbuhi rambut-rambut halus. Ukuran panjang tubuh ngengat jantan berkisar 10,4 mm dan ngengat betina 9,6 mm. Lama perkembangan *C. pavonana* mulai dari telur sampai imago berkisar antara 22-30 hari. Serangga dewasa atau imago (ngengat) *C. pavonana* aktif pada malam hari (nokturnal). Ngengat akan bersembunyi pada siang hari di celah-celah antara daun kubis karena ngengat tidak tertarik pada cahaya. Siklus hidup imago jantan berkisar 3-4 minggu, sedangkan imago betina berkisar 2-4 minggu (Priyono dan Hasan, 1992; Sastrosiswojo *et al.*, 2005). Siklus hidup *C. pavonana* mulai dari fase telur sampai imago dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Siklus hidup *C. Pavonana* (a) fase telur; (b) larva instar 1; (c) larva instar 2; (d) larva instar 3; (e) larva instar 4; (f) pra pupa; (g) pupa; (h) imago jantan; (i) imago betina (Sumber : Jannah, 2017)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Zoologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai Februari 2018.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu toples plastik berdiameter 25 cm dan tinggi 16 cm, kuas, penggaris, pipet tetes, sendok pengaduk, gunting, erlenmeyer 50 ml, beaker glass 100 ml, timbangan, labu pengencer 10 ml, tabung insect berdiameter 5 cm dan tinggi 7,8 cm, gelas ukur 25 ml, tabung pemotong daun berdiameter 3 cm, kandang imago ukuran 50 x 50 x 38 cm, printer, scanner, kamera.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu larva *C. pavonana* instar 2, formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari dalam bentuk serbuk, formulasi silika nanopartikel dalam bentuk serbuk, larutan madu 10%, bibit kubis, kain kasa, kertas, serbuk kayu, akuades, aluminium foil, *polybag* diameter 10 cm, tanah kompos, tissue, kapas.

3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 1 kontrol berupa akuades, 3 perlakuan berupa β -asaron 0,1%, silika nanopartikel dan formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel dengan konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari. Setiap perlakuan diulangi sebanyak 10 kali ulangan. Menurut Muntaha *et al.* (2015), untuk menentukan jumlah pengulangan pada sampel dengan menggunakan rumus federer, yaitu $(t - 1)(r - 1) \geq 15$ dimana t adalah perlakuan dan r adalah replikasi atau pengulangan. Semakin banyak perlakuan maka data hasil yang didapatkan akan semakin baik. Oleh karena itu digunakan 10 kali pengulangan dalam penelitian ini, dengan harapan data hasil yang didapatkan akan lebih baik.

3.4 Persiapan Penelitian

3.4.1 Koleksi larva *C.pavonana*

Hewan uji yang digunakan adalah Larva *C. pavonana* yang didapatkan dari lahan pertanian yang ada di daerah Jampit, Kecamatan Sempol, Kabupaten Bondowoso, di daerah Ambulu dan Ledokombo Kabupaten Jember, Jawa Timur. Larva *C. pavonana* dikoleksi dari lapangan dan dikembangbiakkan di Laboratorium Zoologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

3.4.2 Rearing larva *C. pavonana*

Larva yang didapatkan dari lapangan dimasukkan ke dalam kontainer / tabung plastik ($\varnothing = 25 \text{ cm}$ dan $t = 16 \text{ cm}$) diberi alas tisu untuk menjaga kelembaban dan pada penutupnya dilubangi untuk memfasilitasi sirkulasi udara dan dilapisi kain pada penutupnya. Daun kubis yang dicuci bersih dan dikering anginkan dimasukkan ke dalam kontainer / tabung plastik sebagai pakan untuk larva. Setiap kontainer atau tabung plastik berisikan instar larva yang sama. Larva yang sudah berkembang menjadi pupa dipindahkan ke tabung plastik yang berisi serbuk kayu yang kemudian dipindahkan ke kandang imago ($50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 38 \text{ cm}$) sampai pupa berkembang menjadi imago. Kandang imago diberi bibit kubis dalam *polybag* sebagai media untuk peletakan telur dan larutan madu 10% sebagai pakan imago yang diganti setiap 2 hari sekali (Buchori *et al.*, 2009). Telur yang melekat pada daun kubis dipindahkan ke dalam kontainer / tabung plastik untuk dikembangbiakkan kembali. Selama proses pembiakan dikontrol suhu dan kelembaban ruangan.

3.4.3 Penyediaan pakan larva *C. pavonana*

Pakan larva *C. pavonana* merupakan tanaman kubis yang berumur 3-4 minggu. Bibit tanaman kubis ditanam di dalam *polybag* berdiameter 10 cm dengan media tanam berupa tanah yang dicampur dengan pupuk organik. Penanaman tanaman kubis dilakukan tanpa adanya proses penyemprotan

insektisida selama perawatan. Penanaman tanaman kubis dilakukan di *Green house* Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Jember.

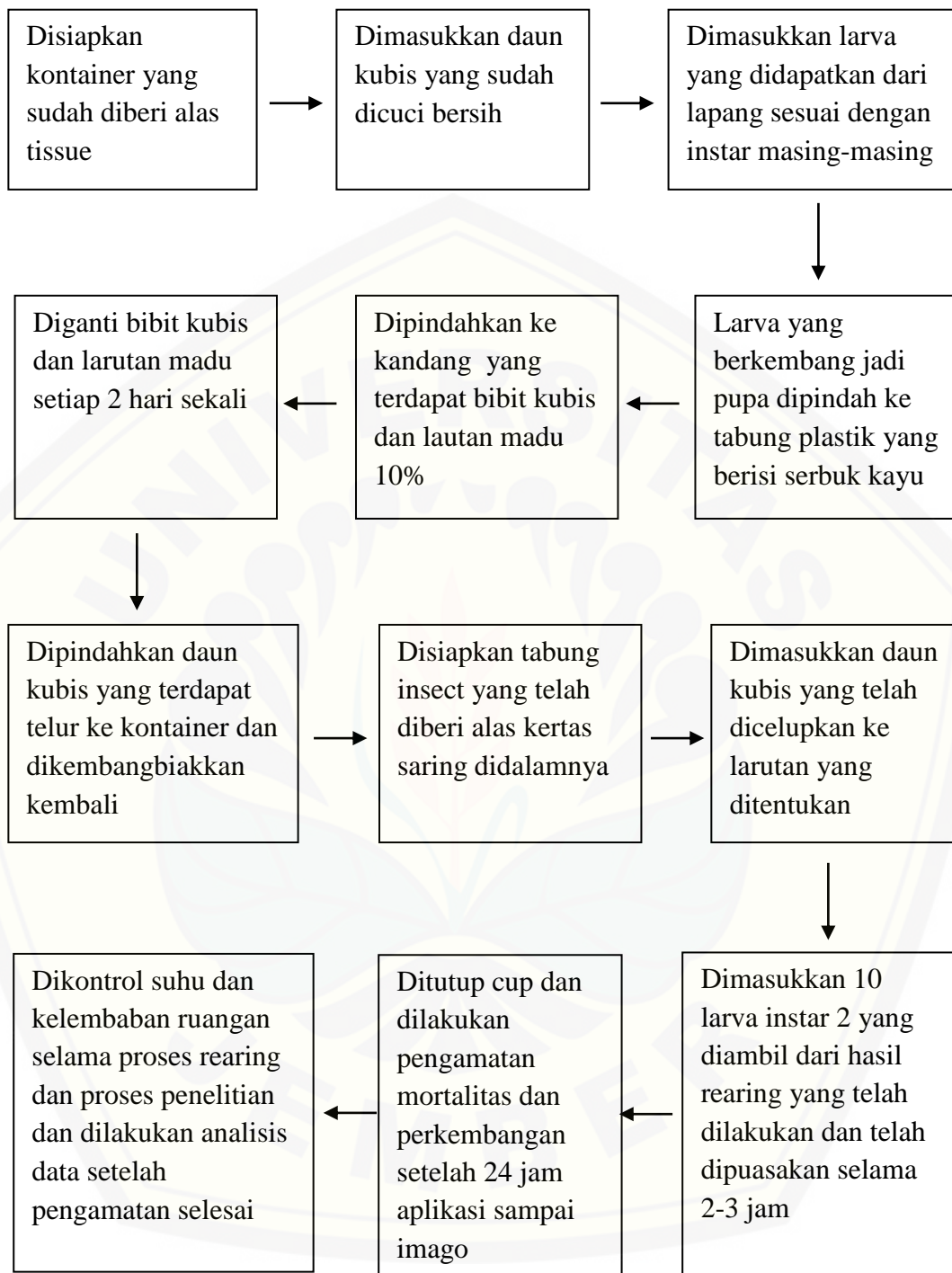
3.5 Pelaksanaan Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode celup. Daun kubis dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 3 cm dan dicelupkan ke dalam masing-masing larutan yang telah ditentukan selama 1 menit. Larutan tersebut harus membasahi seluruh bagian daun secara merata. Kemudian daun kubis dikering anginkan selama 5 menit diatas *tissue*.

Tabel 3.1 Susunan Konsentrasi Tiap Formulasi

Konsentrasi Perlakuan	Gram Formulasi / ml akuades
Kontrol (0%)	100 ml akuades
β -asaron (0,1%)	0.1 μ l dalam 10 ml aquades
Silika nanopartikel	0,025 g dalam 100 ml
Formulasi β -asaron dalam silika nanopartikel daya serap 30 hari (0,025%)	0,025 g dalam 100 ml

Daun kubis yang telah kering dimasukkan kedalam *cup* plastik ($\emptyset = 5$ cm dan $t = 7,8$ cm) yang terdapat alas berupa kertas saring didalamnya. Kemudian pada masing-masing tabung insect dimasukkan 10 larva *C. pavonana* instar 2 yang sebelumnya telah dipuasakan (tidak diberi pakan) kurang lebih 2-3 jam. Selanjutnya tabung ditutup dan dilakukan pengamatan setelah 24 jam aplikasi. Masing-masing kontrol dan perlakuan dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan. Mortalitas *C. pavonana* dicatat sesuai waktu yang telah ditentukan (Priyono, 1998). Pengamatan mortalitas dan perkembangan dilakukan pada setiap stadia larva instar 2, 3, 4, prapupa, pupa dan imago. Parameter yang dicatat pada pengamatan perkembangan *C. pavonana* adalah jumlah individu yang hidup tiap stadia, jumlah pembentukan pupa dan imago serta jumlah individu abnormal yang ditemukan pada tiap stadia. Suhu dan kelembaban ruangan juga dikontrol dan dicatat selama pelaksanaan penelitian sebagai data sekunder.



Gambar 3.1 Diagram alir rearing larva *C. pavonana* sampai pelaksanaan penelitian

Menurut Prijono (1998), rumus yang digunakan untuk menghitung dan menentukan presentase mortalitas *C. pavonana* adalah :

$$\text{Mortalitas (\%)} = \frac{\text{Jumlah larva } C.pavonana \text{ yang mati}}{\text{Jumlah larva } C.pavonana \text{ yang diuji}} \times 100 \%$$

Menurut Prijono (1998), apabila tingkat mortalitas serangga uji pada kontrol 5 – 20 % maka dikoreksi menggunakan rumus Abbot sebagai berikut :

$$A1 = \frac{A-B}{100-B} \times 100 \%$$

Keterangan :

A1 : Persentase mortalitas serangga uji yang terkoreksi

A : Persentase mortalitas serangga uji perlakuan

B : Persentase mortalitas serangga uji pada kontrol

3.6 Analisis Data

Data mortalitas yang didapatkan dari hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk diagram batang (histogram). Data perkembangan C. pavonana akan olah dengan analisis statistik *GLM (General Linear Model) – Repeated Measures* menggunakan program *SPSS 16.0 for Windows Evaluation Version*.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Formulasi senyawa β -asaron dalam silika nanopartikel konsentrasi 0,025% daya serap 30 hari berpengaruh terhadap peningkatan mortalitas serta berpengaruh terhadap perkembangan *C. pavonana*. Pada perlakuan β -asaron dalam silika nanopartikel dapat menyebabkan kematian pada stadia larva sebesar 31%, stadia papupa sebesar 62%, pada stadia pupa sebesar 66%, dan pada stadia imago mencapai 82%. Perlakuan β -asaron dalam silika nanopartikel juga berpengaruh terhadap perkembangan *C. pavonana* yaitu menurunkan angka pembetulan pupa dan imago serta meningkatkan morfologi abnormal pada serangga uji *C. pavonana*.

5.2 Saran

Pada saat larva sudah mencapai instar 3 jumlah daun yang digunakan untuk pakan larva perlu ditambahkan menjadi dua daun setiap dua kali sehari. Hal ini perlu dilakukan untuk menghindari kematian larva akibat kekurangan pakan. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengaplikasian pada lapang agar dapat diketahui perbandingan dan perbedaan yang dipengaruhi kondisi lapang. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan uji mortalitas pada *C. pavonana* menggunakan β -asaron, silika nanopartikel, serta kombinasi dari β -asaron dan silika nanopartikel dengan konsentrasi yang berbeda dengan harapan hasil yang didapatkan dari ketiga formulasi tidak jauh berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Abizar, M. 2010. Aktivitas insektisida ekstrak daun dan biji *Tephrosia vogelii* J. D. Hooker (Leguminosae) dan ekstrak buah *Piper cubeba* L. (Piperaceae) terhadap larva *Crocidolomia Pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae). *Skripsi*. Bogor : Departemen Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Arneti, Yaherwandi, I. Manti, dan Dachryanus. 2011. Keefektifan ekstrak sederhana buah *Piper aduncum* (Piperaceae) terhadap *Crocidolomia pavonana* F. (Lepidoptera: Crambidae) untuk penggunaan ditingkat petani. *Manggaro*. 12(1): 17-22.
- Balakumbahan, R., K. Rajamani, dan K. Kumanan. 2010. *Acorus calamus*: an overview. *Journal of Medicinal Plants Research*. 4(25): 2740-2745.
- Bertea, C. M., C. M. M. Azzolin, S. S. Bossi, G. Doglia, dan M. E. Maffei. 2005. Identification of an EcoRI restriction site for a rapid and precise determination of β -asarone-free *Acorus calamus* cytotypes. *Phytochemistry*. 66: 507-514.
- Buchori, D., B. Sahari, dan E. Sriratna. 2009. Encapsulation and hemocyte numbers in *Crocidoloma pavonana* and *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera) attacked by parasitoid *Eriborus argenteopilosus* Cameron (Hymenoptera). *Journal of Biosciences*. 16(4): 135-141.
- Buchori, D., B. Sahari, dan E. Suratna. 2009. Encapsulation an hemocyte numbers in *Crocidolomia pavonana* and *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera) attacked by parasitoid *Eriborus argenteopilosus cameron* (Hymenoptera). *Journal of Biosciences*. 6(4): 135-141.
- Buzea, C., I. I. Pacheco, dan K. Robbie. 2007. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*. 2(4). DOI: 10.1116/1.2815690.
- Camprotondi, D. E., Foglia, M. L., Alvarez, G. S., Mebert, A. M., Diaz, L. E., Coradin, T., Desmione, M. F. 2013. Antimicrobial properties of silica modified nanoparticles. *Formatex*. 1-8.
- Chen, X. J., Z. Y. Meng, Y. J. Ren, H. T. Gu, dan C. L. Lu. 2016. Effects of ZnO nanoparticle on photo-protection and insecticidal synergisme of rotenone. *Journal of Agricultural Science*. 8(2): 38-45.

- Christensen, B. M., J. Li, C. C. Chen, dan A. J. Nappi. 2005. Melanization immune responses in mosquito vectors. *Parasitology*. 21: 192-199.
- Dadang, dan D. Priyono. 2008. *Insektisida nabati : prinsip, pemanfaatan, dan pengembangan*. Bogor: Department Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor.
- Dadang, dan D. Priyono. 2011. Pengembangan teknologi formulasi nsektisida nabati untuk pengendalian hama sayuran dalam upaya menghasilkan produk sayuran sehat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 16(2): 100-111.
- Dadang, E. D. Fitriyasi, dan D. Priyono. 2011. Field efficacy of teo botanical insecticide formulations against cabbage insect pests, *Crociodolomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Pyralidae) and *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *J. ISSAAS*. 17(2): 38-47.
- El-bendary, H. M., dan A. A. El-Helaly. 2013. First recird nanotechnology in agricultural: silica nanoparticles a potential new insecticide for pest control. *App. Sci. Report*. 4(3): 241-246.
- Ganjewala, D., dan A. K. Srivastava. 2011. An update on chemical composition and bioactivities of *Acorus* species. *Asian Journal of Plant Sciences*. 10(3). 182-189.
- Goshen, K. M., dan S. Magdasi. 2012. *Nanotechnology: an advanced approach to the development of potent insecticides chapter 15*. Israel : The Hebrew University of Jerussalem.
- Goussain, M. M., J. C. Moraes, J. G. Carvalho. N. L. Nogueira, dan M. L. Rossi. Effect of silicon application on corn plants upon the biological development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotrop. Entomol*. 31(2): 305-310.
- Hadi, S., Munasir, dan Triwikantoro. 2011. Sintesis silika berbasis pasir alam bancar menggunakan metode kopresipitasi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 7(2).
- Harisson, R. L., dan B. C. Bonning. 2010. Proteases as insecticidal agents. *Toxins*. 2: 935-953

- Hasnah, Husni, dan A. Fardhisa. 2012. Pengaruh ekstrak rimpang jeringau (*Acorus calamus* L.) terhadap mortalitas ulat grayak *Spodoptera litura* F. *J. Floratek*. 7: 115-124.
- Hayati, R., dan Astuti. 2015. Sintesis nanopartikel silika dari Pantai Purus Padang Sumatera Barat dengan metode kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*. 4(3).
- Herminanto. 2006. Pengendalian hama kubis *Crociodolomia pavonana* F. menggunakan ekstrak kulit buah jeruk. *Jurnal Pembangunan Pedesaan*. 6(3): 166-174.
- Huan, C., dan S. S. Qing. 2014. Silicon nanoparticles: preparation, properties, and applications. *Chyn. Phys. B*. 23(8).
- Isnaeni, M., E. R. Pane, dan S. Wiridianti. 2015. Pengujian beberapa jenis insektisida nabati terhadap kutu beras (*Sitophilus oryzae* L.). *Jurnal Biota*. 1(1): 1-8.
- Jannah, R. 2017. Uji β -asaron dalam nanopartikel silika terhadap mortalitas *Crociodolomia Pavonana* F. *Skripsi*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Kalapathy, U., A. Proctor, dan J. Shultz. 2002. An improved method for production of silica from rice hull ash. *Bioresourch Technology*. 85: 285-289.
- Kalshoven, dan L. G. Edmund. 1981. *De Plagen van Culturgewassen in Indonesia*. Terjemahan oleh Laan Pa van der. 1982. *The Pest of Crops in Indneosia*. Jakarta: PT. Ichtiar Baru.
- Kawashima, Y., H. Yamamoto, H. Takeuchi, dan Y. Kuno. 2000. Mucoadhesive DL-Lactide/glycolide copolymer nanospheres coated with chitosan to improve oral delivery of elcatonin. *Pharmaceutical Development and Technology*. 5(1): 77-85.
- Korinus, L. M. 1995. Dinamika populasi *Crociodolomia binotalis* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) pada daun kubis dan petsai di Kecamatan Tomohon Kabupaten Minahasa Sulawesi Utara. *Thesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Mordue, A. J., P. K. Cottee, dan K.A. Evans. 1985. Azadirachtin : its effect on gut motility, growth, and moulting in *Locusta* sp. *Physiological Entomology*. 10: 431-437.
- Myers, P., R. Espinosa, C. S. Parr, T. Jones, G. S. Hammond, dan T. A. Dewey. 2017. *Animal Diversity Web*. http://animaldiversity.org/accounts/Crocidolomia_pavonana/classification/ [3 Februari 2017].
- Ober, C. A., dan R. M. Gupta. 2011. Nanoparticle technology for drug delivey. *Ideas Concyteg: Junio*. 6(7): 714-726.
- Othman, N. 1982. Biology of *Crocidolomia binotalis* Zell. (Lepidoptera: Pyralidae) and its parasites from Cipanas area (West Java). *Report of training course research*. Bogor (ID) : Seameo-Biotrop.
- Prijono, D. 1998. *Penuntun Pengujian Insektisida*. Bogor : Fakultas Pertanian IPB.
- Prijono. D., dan E. Hasan. 1992. Life cycle and demography of *Crocidolomia binotalis* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) on broccoli in the laboratory. *Indonesian Journal Tropical Agriculture*. 4(1): 18-24.
- Purwatiningsih, dan Rumhayati. 2015. Cutting edge nanoparticles: to increase the efficacy of Indonesian plant extracts from *Acorus calamus* L. as botanical insecticides to control insect pest cabbage (*Crocidolomia pavonana* F.) (Lepidopter: Pyralidae). Laporan Penelitian ITSF (Indonesia Toray Science Foundation), (*Unpublished Data*).
- Ragaei, M., dan A. H. Sabry. 2014. Nanotechnology for insect pest control. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 3(2): 528-545.
- Reynolds, S.S., dan R. I. Samuels. Physiology and biochemistry of insect moulting fluid. 1996. *Advances in Insect Physiology*. 26.
- Rouhani, M., M. A. Samih, dan S. Kalantari. 2012. Insecticidal effect of silica and silver nanoparticles on the cow pea seed beetle, *Callosobruchus maculatus* F. (Col.: Bruchidae). *Journal of Entomological Research*. 4(4): 297-305.

- Sastrosiswodjo, S., T. S. Uhan, dan R. Sutarya. 2005. *Penerapan Teknologi PHT Pada Tanaman Kubis*. Monografi. Bandung: Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Saunders, J.W.Jr. 1980. *Developmental Biology : Patterns Problems Principles*. New York : Macmillan Publishing Co Inc.
- Saxena, B. P., O. Koul, K. Tikku, dan C. K. Atal. 1977. A new insect chemosterilant isolated from *Acorus calamus* L. *Nature*. 270: 512-513.
- Schmidt, G. H., dan M. Strelake. 1994. Effect of *Acorus calamus* (L.) (Araceae) oil and its main compound β -asarone on *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.* 30(3): 227-235.
- Septiawan, R. 2018. Pengujian hayati α -asaron dalam nanopartikel silika daya serap 30 hari terhadap mortalitas dan perkembangan *Crocidolomia Pavonana* F (Lepidoptera: Crambidae). *Skripsi*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Sieber, K.P. dan Rembold. H. 1983. The effects of azadirachtin on the endocrin control of molting in Lucustamigratoria insects. *Martinsteid*.
- Sulistyowati, E., E. Mufrihati, dan S. Wardani. 2007. Potensi insektisida berbahan aktif ganda sipermetrin plus klorpirifos dalam mengendalikan penggerek buah kakao, *Conopomorpha cramerella* Snell. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*. 23(3): 159-167.
- Sunjaya, P. I. 1970. *Dasar – Dasar Serangga Bagian Ilmu Hama Tanaman Pertanian*. Bogor: IPB.
- Tiyaboonchai, W. 2003. Chitosan nanoparticles: a promising system for drug delivery. *Naresuan University Journal*. 11(3): 51-66.
- Vattikonda, S. R., N. R. Amanchi, dan S. R. Sangam. 2015. Bio efficacy of β -asarone on feeding deterrence of *papilio demoleus* L. fourth instar larvae (Lepidoptera: Papilionidae). *International Journal of Science, Environment and Technology*. 4(1): 23-32.
- Wang, Y., H. Cui, C. Sun, X. Zhao, dan B. Cui. 2014. Construction and evaluation of controlled-release delivery system of abamectin using porous silica nanoparticles as carriers. *Nanoscale Research Letters*. 9 : 655.

- Yang, F. L., X. G. Li, dan C. L. Lei. 2009. Structural characterization of nanoparticles loaded with garlic essential oil and their insecticidal activity against *Tribolium castaneum* (herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae). *J. Agric. Food. Chem.* 57 : 10156-10162.
- Yende, S. R., U. N. Harle, D. T. Rajgure, T. A. Truse, dan N. S. Vyawahare. Pharmacological profile of *Acorus calamus*: an overview. *Pharmacological Reviews.* 2(4): 22-26.
- Yuan, H., F. Gao, Z. Zhang, L. Miao, R. Yu, H. Zhao, dan M. Lan. 2010. Study on controllable preparation of siliciz nanoparticles with multi-size and their rsize-dependent cytotoxicity pheochrocytoma cells and human embryonic kidney cells. *Journal of Health Science.* 56(6): 632-640.
- Zuba, D., dan B. Byrska. 2012. Alpha- and beta-asarone in herbal medicinal products. A case study. *Forensic Science International.* FSI-6916.

LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Hasil Analisis Statistik Perkembangan *C. pavonana*

Within-Subjects Factors

Measure : stadia

Hari	Dependent Variable
1	instar2
2	instar3
3	instar4
4	prapupa
5	pupa
6	imago

Box's Test of Equality of Covariance Matrices^a

Box's M	1.004E3
F	23.653
df1	42
df2	2.080E6
Sig.	.000

Tests the null hypothesis that the observed covariance matrices of the dependent variables are equal across groups.

a. Design: Intercept + formulasi

Within Subjects Design: hari

Multivariate Tests^c

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared
Hari	Pillai's Trace	.154	40.445 ^a	5.000	1.112E3	.000	.154
	Wilks' Lambda	.846	40.445 ^a	5.000	1.112E3	.000	.154
	Hotelling's Trace	.182	40.445 ^a	5.000	1.112E3	.000	.154
	Roy's Largest Root	.182	40.445 ^a	5.000	1.112E3	.000	.154

hari * formulasi	Pillai's Trace	.216	17.308	15.000	3.342E3	.000	.072
	Wilks' Lambda	.785	18.722	15.000	3.070E3	.000	.077
	Hotelling's Trace	.271	20.086	15.000	3.332E3	.000	.083
	Roy's Largest Root	.264	58.726 ^b	5.000	1.114E3	.000	.209

Mauchly's Test of Sphericity^b

Measure:stadia

Within Subject's Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^a		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
hari	.764	300.457	14	.000	.903	.909	.200

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

Tests of Within-Subjects Effects

Measure:stadia

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
hari	Sphericity Assumed	778.710	5	155.742	32.118	.000	.028
	Greenhouse-Geisser	778.710	4.514	172.500	32.118	.000	.028
	Huynh-Feldt	778.710	4.547	171.257	32.118	.000	.028
	Lower-bound	778.710	1.000	778.710	32.118	.000	.028
hari * formulasi	Sphericity Assumed	1473.454	15	98.230	20.258	.000	.052
	Greenhouse-Geisser	1473.454	13.543	108.800	20.258	.000	.052
	Huynh-Feldt	1473.454	13.641	108.016	20.258	.000	.052
	Lower-bound	1473.454	3.000	491.151	20.258	.000	.052
Error(hari)	Sphericity Assumed	27057.670	5580	4.849			
	Greenhouse-Geisser	27057.670	5.038E3	5.371			
	Huynh-Feldt	27057.670	5.074E3	5.332			
	Lower-bound	27057.670	1.116E3	24.245			

Tests of Within-Subjects Contrasts

Measure:stadia

Source	hari	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
hari	Linear	524.246	1	524.246	112.829	.000	.092
	Quadratic	12.079	1	12.079	2.218	.137	.002
	Cubic	.943	1	.943	.164	.686	.000
	Order 4	70.794	1	70.794	14.784	.000	.013
	Order 5	170.648	1	170.648	47.208	.000	.041
hari * formulasi	Linear	1237.308	3	412.436	88.765	.000	.193
	Quadratic	159.049	3	53.016	9.734	.000	.025
	Cubic	14.663	3	4.888	.850	.467	.002
	Order 4	11.043	3	3.681	.769	.512	.002
	Order 5	51.391	3	17.130	4.739	.003	.013
Error(hari)	Linear	5185.346	1116	4.646			
	Quadratic	6078.420	1116	5.447			
	Cubic	6415.827	1116	5.749			
	Order 4	5343.948	1116	4.788			
	Order 5	4034.128	1116	3.615			

Tests of Between-Subjects Effects

Measure:mortalitas

Transformed Variable:Average

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	5115.293	1	5115.293	5.642E3	.000	.835
formulasi	1376.104	3	458.701	505.956	.000	.576
Error	1011.770	1116	.907			

Between-Subjects SSCP Matrix

			mortalitas
Hypothesis	Intercept	Mortalitas	5115.293
	formulasi	Mortalitas	1376.104
Error	Mortalitas		1011.770

Based on Type III Sum of Squares

Hari

			hari : Column				
hari : Row		Linear	Quadratic	Cubic	Order 4	Order 5	
Hypothesis	Intercept	Linear	524.246	-79.575	22.234	-192.649	-299.101
		Quadratic	-79.575	12.079	-3.375	29.242	45.400
		Cubic	22.234	-3.375	.943	-8.170	-12.685
		Order 4	-192.649	29.242	-8.170	70.794	109.913
		Order 5	-299.101	45.400	-12.685	109.913	170.648
formulasi	Linear	Linear	1.237E3	412.053	-63.608	-101.316	-226.233
		Quadratic	412.053	159.049	-15.641	-26.236	-62.692
		Cubic	-63.608	-15.641	14.663	5.824	20.029
		Order 4	-101.316	-26.236	5.824	11.043	22.205
		Order 5	-226.233	-62.692	20.029	22.205	51.391
Error	Linear	Linear	5.185E3	1411.640	-672.365	-267.091	345.981
		Quadratic	1.412E3	6078.420	419.753	103.762	1.080E3
		Cubic	-672.365	419.753	6.416E3	1.444E3	99.117
		Order 4	-267.091	103.762	1.444E3	5.344E3	-298.641
		Order 5	345.981	1080.413	99.117	-298.641	4.034E3

Based on Type III Sum of Squares