PEMBIAKAN NEMATODA ENTOMOPATOGEN PADA MEDIA TEPUNG JANGKRIK DAN PATOGENITASNYA TERHADAP RAYAP TANAH

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Biologi

Oleh

Fakrunisa Isnaini Adzikri

4411413040

JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2018

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "Pembiakan Nematoda Entomopatogen pada Media Tepung Jangkrik dan Patogenitasnya terhadap Rayap Tanah" disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, 24 Juli 2018

METERAI TEMPEL
TGL 20
34442AFF192714696
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Fakrunisa Isnaini Adzikri
4411413040

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Pembiakan Nematoda Entomopatoen pada Media Tepung Jangkrik dan Patogenitasnya terhadap Rayap Tanah

disusun oleh

Fakrunisa Iṣnaini Adzikri

4411413040

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada tanggal 31 Juli 2018.

Panitia Ujian

Ketua	Sekretaris
Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.	Dra. Endah Peniati, M.Si.
NIP. 196412231988031001	NIP. 196511161191032001

Penguji Utama

Dra. Endah Peniati, M.Si.

NIP. 196511161191032001

Anggota Penguji/ Pembimbing I	Anggota Penguji/ Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. Priyantini Widiyaningrum, M.S.	Dr. Ir. Dyah Rini Indriyanti, M.P.
NIP. 196004191086102001	NIP. 196304071990032001

MOTTO

1. “Tuntutlah ilmu,sesungguhnya menuntut ilmu adalah pendekatan diri kepada Allah Azza wajalla, dan mengajarkannya kepada orang yang tidak mengetahuinya adalah sodaqoh. Sesungguhnya ilmu pengetahuan menempatkan orangnya dalam kedudukan terhormat dan mulia (tinggi). Ilmu pengetahuan adalah keindahan bagi ahlinya di dunia dan di akhirat.” (HR. Ar-Rabii’)

2. Jangan menunda sesuatu untuk dikerjakan. Jangan tunda …… Jangan tundaaa….

PERSEMBAHAN

Dengan bangga, Skripsi ini kupersembahkan untuk

1. Mamahku Sittatun dan Papahku Slamet Riyadi yang selalu memberi dukungan, doa, serta kesabaran yang tidak pernah putus dalam membesarkan dan mendidikku.
2. Kakakku Cendikia Novi R.W. dan Wirawan Patrianto, Adik-adikku Fatahillah Bahario I. dan Salsabilla Firdausia C. yang tiada henti memberi semangat dan doa.
3. Dan seluruh sahabat-sahabatku tercinta yang selalu menghibur dan memberi motivasi.

ABSTRAK

Adzikri, Fakrunisa Isnaini. 2018. Pembiakan Nematoda Entomopatogen pada Media Tepung Jangkrik dan Patogenitasnya terhadap Rayap Tanah. Skripsi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Prof. Dr. Ir. Priyantini Widiyaningrum, M.S. dan Dr. Ir. Dyah Rini Indriyanti, M.P.

Nematoda entomopatogen (NEP) merupakan salah satu agen biokontrol yang efektif dan ramah lingkungan. NEP merupakan mikroorganisme berbentuk cacing berukuran 700-1200 mikron. Perbanyakan NEP secara *in vivo* mudah dilakukan, akan tetapi terkendala oleh penyediaan juvenil infektif dalam jumlah besar. Perbanyakan massal secara *in vitro* menggunakan media buatan non serangga pada penelitian terdahulu masih memiliki kelemahan. Tepung jangkrik berpotensi untuk dijadikan sumber nutrisi pakan NEP. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis komposisi media tepung jangkrik yang menghasilkan kepadatan populasi NEP isolat Semarang (*Steinernema* sp.) tertinggi dan mengkaji patogenitas terhadap patogenitas rayap tanah (*Macrotermes* sp.) dalam waktu 48 jam. Sampel yang digunakan adalah NEP isolat Semarang. Penelitian ini dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perbedaan dosis tepung jangkrik. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak lima kali pengulangan (Kontrol (*In vivo*), 0.5 g, 1 g, 1.5 g, dan 2 g). Uji patogenisitas NEP pada rayap tanah (*Macrotemes* sp) dilakukan dengan perlakuan dalam 7 level konsentrasi JI yaitu 0; 50; 100; 150; 200; 250; dan 300 JI/ml. Analisis data populasi NEP dianalisis varian (ANAVA) dan analisis probit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NEP isolat Semarang mampu berkembangbiak dengan baik dalam media tepung jangkrik pada komposisi terbaik yaitu 1 g. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tepung jangkrik efektif digunakan sebagai media pembiakan NEP isolat Semarang pada konsentrasi 1 g. Hasil analisis probit pada uji patogenitas menunjukkan LD_{50}-48 jam pada rayap tanah dicapai pada konsentrasi ±245 JI/ml.

Kata kunci: NEP isolat Semarang, Pembiakan *in vitro*, Tepung Jangkrik, *Macrotermes* sp.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Laporan Skripsi dengan judul "Pembiakan Nematoda Entomopatogen pada Media Tepung Jangkrik dan Patogenitasnya terhadap Rayap Tanah". Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian paying di bawah Ketua Tim Peneliti Prof. Dr. Ir. Priyantini Widiyaningrum, M.S. Banyak orang yang berperan dalam membimbing dan memberikan kritik serta saran selama penulis melaksanakan penyelesaian penulisan laporan skripsi ini, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan studi di UNNES
2. Dekan FMIPA UNNES yang telah memberikan ijin kepada penulis untuk melaksanakan penelitian
3. Ketua Jurusan Biologi FMIPA UNNES yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam penyusunan skripsi
4. Prof. Dr. Ir. Priyantini Widiyaningrum, M.S. selaku pembimbing I, sekaligus paying penelitian yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan serta motivasi kepada penulis dengan penuh kesabaran selama penyusunan skripsi. Terima kasih atas ilmu dan waktu yang telah diberikan
5. Dr. Ir. Dyah Rini Indriyanti, M.P. selaku pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan dengan sabar selama penyusunan skripsi. Terima kasih atas ilmu dan waktu yang telah diberikan
6. Dra. Endah Peniati, M.Si. selaku penguji utama yang telah memberikan kritik, saran dan masukan kepada penulis demi kesempurnaan penyusunan skripsi
7. Dr. dr. Nugrahaningsih WH, M.Kes. selaku dosen wali yang sangat perhatian mengarahkan ke dalam kebaikan dan kelancaran selama perkuliahan
8. Bapak dan Ibu dosen jurusan Biologi yang telah memberikan bekal ilmu yang tak ternilai harganya selama belajar di FMIPA UNNES.
9. Semua pihak di Laboratorium Biologi UNNES yang sudah banyak membantu penulis dalam melaksanakan penelitian ini.

10. Semua pihak di Laboratorium Nutrisi Pakan Ternak Fakultas Peternakan UNDIP yang sudah banyak membantu penulis dalam melaksanakan penelitian ini.
11. Orang tuaku tercinta Ibu Sittatun dan Bapak Slamet Riyadi, kakakku Cendikia Novi R. W dan Wirawan Patrianto, serta adikku Fatahilah Bahario I. dan Salsabilla Firdausia C. yang telah memberikan doa, semangat, dukungan moril dan material dalam penyusunan skripsi
12. Sahabat-sahabat tercinta Herera Rahajeng, Minnathul Khasanah, Restanti Solikhah, R. Tefarani, Novi Latifa, Pipit Ayu M., Eva Andriani, Eris Apriana, Khilyatul Aulia, Novega Alam S., M. Rofi'i Hasan, Evan Rivai, Fandy Aldy W., terima kasih atas semangat, dukungan, kritik, saran dan bantuannya
13. Keluarga besar BIOGENIC 2013, KKN Lokasi Desa Ngabeyan Temanggung 2016, Bina Vokalia FMIPA, JAPONIKA, PKL PCO Semarang, KOTI Rangers, FPP Kota Semarang, KARTUNAWA, Dhogadhoga, AKUNNESIN terima kasih telah menjadi keluarga kecilku
14. Semua pihak yang telah berkenan membantu penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan kemajuan pendidikan Indonesia.

Semarang, 31 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ii

PENGESAHAN iii

MOTTO DAN PERSEMBAHAN iv

ABSTRAK v

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI viii

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR LAMPIRAN xii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang 1

B. Rumusan Masalah 4

C. Penegasan Istilah 4

D. Tujuan Penelitian 5

E. Manfaat Penelitian 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Nematoda Entomopatogen (NEP) 7

1. Morfologi Nematoda *Steinernema* sp. 7

2. Biologi dan Siklus Hidup Nematoda Entomopatogen (NEP) 9

3. Mekanisme infeksi Nematoda Entomopatogen 11

B. Nutrisi Nematoda Entomopatogen 13

C. Tepung Jangkrik (*Grillus* sp.)..... 14

D. *Macrotermes* sp. 15

E. Penelitian Terkait 16

F. Kerangka Berfikir 18

G. Hipotesis..... 19

BAB III METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian 20
B. Populasi dan Sampel 20
C. Rancangan Penelitian 20
D. Variabel Penelitian 21
E. Alat dan Bahan Penelitian 21
F. Prosedur Penelitian 22
1. Isolasi NEP isolat Semarang 22
2. Pembuatan Media Pembiakan NEP 23
3. Perhitungan Kepadatan Populasi NEP 24
4. Uji Patogenitas Rayap Tanah (*Macrotermes* sp.) 25
5. Analisis Kandungan Nutrisi Media 26
G. Analisis Data 26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil 28
1. Kepadatan Populasi *Steinernema* sp. pada Media Tepung Jangkrik 28
2. Patogenitas NEP terhadap Rayap Tanah 31
B. Pembahasan 33
1. Kepadatan Populasi *Steinernema* sp. pada Media Tepung Jangkrik 33
2. Patogenitas NEP terhadap Rayap Tanah 40

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan 44
B. Saran 44
DAFTAR PUSTAKA 45
LAMPIRAN 51

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Morfologi NEP *Steinernema* sp. 8
2. Morfologi NEP bagian anterior 8
3. Siklus Hidup Nematoda Entomopatogen 10
4. Mekanisme Infeksi Nematoda Entomopatogen 12
5. Kerangka Berfikir Penelitian 18
6. Histogram Rata-rata Jumlah *Steinernema* sp. Pada Media Tepung Jangkrik 28
7. Gejala Patogenitas Rayap Tanah terserang *Steinernema* sp. 41
9. *Steinernema* sp. yang terdapat di dalam abdomen rayap tanah 42

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Uji Normalitas (Shapiro-wilk) kepadatan populasi NEP Minggu ke-1 dan Minggu ke-2 29
2. Kepadatan Populasi *Steinernema* sp. pada Media Tepung Jangkrik Minggu ke-1 30
3. Kepadatan Populasi *Steinernema* sp. pada Media Tepung Jangkrik Minggu ke-2 31
4. Patogenitas rayap tanah *Macrotermes* sp. uji setelah 48 jam..... 32
5. Analisis Proksimat Tepung Jangkrik 34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Hasil pengukuran pH pada media tepung jangkrik 52
2. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban ruang selama penelitian 53
3. Uji Normalitas kepadatan populasi *Steinernema* sp. pada media Tepung jangkrik Minggu ke-1..... 55
4. Analisis ANAVA dan uji lanjut Gamess-Howell populasi NEP Minggu ke-1 56
5. Uji Normalitas kepadatan populasi *Steinernema* sp. pada media Tepung jangkrik Minggu ke-2..... 58
6. Analisis ANAVA dan uji lanjut LSD populasi NEP Minggu ke-2 59
7. Analisis ANAVA dan uji lanjut LSD patogenitas NEP terhadap rayap Tanah 61
8. Hasil Analisis Probit menggunakan SPSS 23 (LC_{50}-48 jam)..... 63
9. Dokumentasi penelitian 65
10. Surat Ijin Penelitian 68

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di Indonesia, salah satu faktor terjadinya gagal produksi pertanian adalah hama. Kerusakan akibat hama pada pertanian dan perkebunan tentunya sangat meresahkan para petani. Hama pada tanaman biasanya menyerang batang, daun, hingga seluruh bagian tumbuhan. Kerusakan dapat menurunkan produksi karena tidak memenuhi kriteria panen. Menurut Butarbutar *et al.* (2013) dampak negatif kehadiran hama dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan tanaman, gagal panen, bahkan penurunan jumlah produksi. Semakin tinggi intensitas kerusakan hama, semakin rendah hasil produksi.

Pengendalian hama pada tanaman yang dilakukan oleh petani masih memfokuskan pada penggunaan insektisida kimia. Beberapa kendala dalam penggunaan insektisida kimia selain harganya mahal, juga mempunyai dampak negatif yaitu berbahaya bagi lingkungan (Sunarto & Natasasmita 2014). Penggunaan biopestisida efektif menekan pertumbuhan dan perkembangan hama tanaman. Namun penerapan biopestisida di tingkat petani belum meluas. Selain itu biopestisida juga mempunyai beberapa kelemahan diantaranya ketersediaan di pasaran masih terbatas dan tidak tahan lama disimpan (Sumartini 2016).

Alternatif lain untuk pengendalian hama secara ramah lingkungan yaitu mengunakan agen pengendalian hayati. Nematoda entomopatogen (NEP) merupakan salah satu agen pengendalian hayati yang sudah banyak digunakan. Nematoda entomopatogen (NEP) merupakan mikroorganisme berbentuk cacing berukuran 700-1200 mikron dan berada di dalam tanah (Nugrohorini 2010). Pemanfaatan nematoda entomopatogen digunakan sebagai musuh alami serangga hama dan bahan aktif dalam pestisida organik yang murah dan aman bagi lingkungan serta mudah dibuat oleh petani (Sunarto & Natasasmita 2014).

Selain itu, nematoda entmopatogen juga efektif untuk mengendalikan serangga hama (Khairunnisa *et al*. 2014).

Nematoda entomopatogen stadia Juvenil 3 atau yang biasa disebut Juvenil Infektif (JI) adalah stadia yang paling sering digunakan untuk mengendalikan serangga hama, dan dapat diisolasi dari semua jenis tanah di lingkungan sekitar larva serangga hama (Kaya 1990). Nematoda entomopatogen dapat diisolasi dari berbagai tempat di seluruh belahan dunia, khususnya dari golongan Steinernematidae (Nugrohorini 2010). Isolasi nematoda entomopatogen dengan memanfaatkan isolat lokal dari beberapa wilayah di Indonesia. Kelimpahan NEP yang mendominasi pada beberapa lahan di kota Semarang adalah nematode *Steinernema* sp. dengan ditemukan kelimpahan NEP tertinggi pada tanah kotoran ternak sebesar 67.411 ekor/mL dan kelimpahan NEP terendah pada tanah tanpa vegetasi sebesar 15.199 ekor/mL (Indriyanti *et al*. 2015). Pemanfaatan nematoda entomopatogen dari famili *Steinernematidae* saat ini telah banyak dimanfaatkan sebagai agensia hayati. Hasil penelitian Indrayani dan Gothama (2005) menunjukkan bahwa nematoda entomopatogen *Steinernema* sp. terbukti efektif membunuh inang pada stadia larva, propupa, dan pupa pada waktu 1- 4 hari pada hama utama beberapa tanaman perkebunan dan hortikultura.

Selain sebagai pengendali hama pada tanaman pertanian dan perkebunan, *Steinernema* sp. juga dapat mengendalikan hama yang hidup di tanah, salah satunya rayap tanah (*Macrotermes* sp.). Rayap tanah (*Macrotermes* sp.) telah banyak merusak tanaman dan kayu bangunan. Kerusakan tersebut sulit diketahui secara dini gejala serangan awalnya dikarenakan rayap jenis ini berada di bawah permukaan tanah (Nandika *et al*. 2003). Sampai saat ini pengendalian rayap masih menggunakan insektisida kimia yang merusak lingkungan dan tidak efektif. Hasil penelitian Widiyaningrum *et al.* (2016) menunjukkan bahwa NEP *Steinernema* sp. efektif untuk menginfeksi dan membunuh rayap tanah sebesar 50% pada konsentrasi 242 JI/ml dalam waktu 48 jam pada uji patogenitas di laboratorium.

Pemanfaatan NEP sebagai agensia hayati saat ini masih terkendala oleh produksi massalnya. Aplikasi NEP di lapang juga masih terkendala oleh penyediaan nematoda juvenil infektif (JI) dalam jumlah besar. Produksi nematoda entomopatogen dapat dilakukan secara *in vivo* dan *in vitro* (Mulyaningsih 2010). Meskipun produksi secara *in vivo* sudah dilakukan, tetapi tidak efektif dan ekonomis dalam skala komersial. Biaya produksi massal NEP secara *in vivo* tidak kompetitif bila dibandingkan dengan aplikasi insektisida kimiawi. Hal ini menjadi kendala pemanfaatan NEP secara luas di lapangan (Chaerani *et al*. 2012).

Perbanyakan nematoda entomopatogen secara *in vitro* dapat dilakukan dengan membuat media dari pakan buatan. Hasil penelitian Indriyanti *et al*. (2014) menyebutkan media untuk perbanyakan NEP yang terdiri dari campuran tepung kedelai dan *dog food* 1:1 menghasilkan populasi NEP sebesar 3,5 x 10^4 JI/ml. Namun populasi NEP tertinggi hanya sampai minggu ke-2, setelah itu populasi menurun. Selain itu, pada penelitian Chaerani *et al.* (2012) perbanyakan nematoda entomopatogen pada media *in vitro* cair statik dari bahan baku yang mengandung 40% usus ayam menghasilkan *Steinernema* sp. sebanyak 5,8 x 10^4 JI/ml.

Kualitas juvenil infektif (JI) hasil perbanyakan *in vitro* berdasarkan pengukuran morfometrik dan patogenisitasnya secara umum lebih rendah daripada hasil perbanyakan secara *in vivo* (Chaerani *et al.* 2012). Hal ini diduga disebabkan komponen pakan buatan yang berasal dari bahan non serangga tidak memenuhi unsur esensial yang dibutuhkan NEP dan bakteri simbion. Dengan demikian unsur serangga tetap diperlukan dalam komponen pakan buatan. Pada penelitian Ogura dan Haraguchi (1994) melaporkan bahwa *Steinernema kushidai* yang sulit dibiakkan pada media *in vitro*, meningkat reproduksinya dari kurang dari 2 x 10^5 menjadi lebih dari 5 x 10^5 JI/ml jika media perbanyakannya ditambah tepung kepompong ulat sutera.

Penelitian ini akan diuji coba penggunaan pakan buatan dari tepung serangga, dalam hal ini adalah jangkrik (*Grillus* sp.). Diharapkan komponen asal

serangga akan meningkatkan potensi reproduksi nematoda entomopatogen. Jangkrik selama ini hanya dikenal sebagai hama dan banyak dibudidayakan sebagai pakan burung/unggas peliharaan. Menurut Panjaitan *et al.* (2012), tepung jangkrik berpotensi untuk dijadikan sumber nutrisi pakan NEP karena jangkrik mudah diperoleh, mudah dibuat, serta mengandung protein dan lemak yang sesuai dengan nutrisi yang dibutuhkan oleh nematoda entomopatogen. Hal tersebut dikarenakan kandungan lemak bagi nematoda dapat mencapai 40% berat tubuhnya (Griffin *et al*. 2005).

NEP isolat lokal yang sedang dieksplorasi dalam penelitian ini adalah genus *Steinernema* sp. berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Indriyanti *et al.* 2015). Isolat NEP lokal Semarang dipersiapkan untuk diproduksi massal dan komersial, sehingga diperlukan kondisi lingkungan yang tepat untuk perbanyakan secara *in vitro* dan media pakan yang tepat.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah penelitian ini yaitu

1. Berapa komposisi media tepung jangkrik yang menghasilkan kepadatan populasi NEP isolat Semarang tertinggi setelah dua minggu pembiakan ?
2. Pada kepadatan populasi NEP berapakah yang dapat menyebabkan patogenitas rayap tanah 50% dalam waktu 48 jam (LD_{50}) ?
3. Berapa konsentrasi NEP isolat Semarang hasil pembiakan pada media tepung jangkrik yang dapat menyebabkan patogenitas rayap tanah tertinggi ?

C. Penegasan Istilah

1. Pembiakan

Pembiakan merupakan perbuatan membiakkan untuk menghasilkan nematoda entomopatogen baru dalam jumlah yang banyak yang dilakukan pada media pakan buatan. Pembiakan nematoda entomopatogen pada penelitian ini adalah secara *in vitro* menggunakan media tepung jangkrik . Pembiakan nematoda entomopatogen dilakukan selama dua minggu perlakuan.

2. Nematoda Entomopatogen (NEP) Isolat Semarang

Nematoda Entomopatogen (NEP) adalah nematoda yang hidup di dalam tanah yang bersifat parasit pada serangga inangnya. Jenis nematoda yang digunakan pada penelitian ini adalah nematoda isolat lokal dari genus *Steinernema* berdasarkan hasil eksplorasi dari penelitian sebelumnya (Indriyanti *et al.* 2015). NEP *Steinernema* sp diisolasi dari tanah yang diambil dari peternakan ayam di wilayah Banyumanik, Kota Semarang.

3. Tepung Jangkrik

Tepung jangkrik pada penelitian ini merupakan tepung yang dibuat dari jangkrik fase nimfa (belum bersayap) yang telah dikeringkan pada suhu 60°C dan dihaluskan menjadi tepung. Jangkrik yang digunakan pada penelitian ini merupakan jangkrik ternak dari toko pakan burung.

4. Patogenitas Rayap Tanah

Pada penelitian ini, patogenitas rayap tanah dihitung setelah 48 jam perlakuan menggunakan rumus

$$\text{Patogenitas (\%)} = \frac{\text{jumlah individu yang mati}}{\text{jumlah individu awal}} \text{ x } 100\%$$

5. Rayap Tanah

Rayap tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah rayap tanah *Macrotermes* sp. kasta pekerja. Rayap tanah digunakan sebagai hewan uji patogenitas yang diinfeksikan NEP isolat Semarang pada konsentrasi tertentu. Setiap perlakuan menggunakan 50 ekor rayap tanah dengan kriteria ukuran dan bobot yang relatif sama.

D. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini yaitu

1. Menganalisis komposisi media tepung jangkrik yang menghasilkan kepadatan populasi NEP isolat Semarang tertinggi setelah dua minggu pembiakan.
2. Menganalisis kepadatan populasi NEP yang dapat menyebabkan patogenitas rayap tanah 50% dalam waktu 48 jam (LD_{50}).

3. Menganalisis konsentrasi NEP isolat Semarang hasil pembiakan pada media tepung jangkrik yang dapat menyebabkan patogenitas rayap tanah tertinggi.

E. Manfaat

Jika penelitian ini berhasil, maka manfaat yang diperoleh adalah

1. Diperoleh alternatif media pakan buatan berbahan tepung jangkrik untuk perbanyakan NEP secara *in vitro.*
2. Memberikan informasi mengenai pemanfaatan media pakan buatan yang optimal untuk pembiakan NEP isolat Semarang.
3. Diperoleh informasi tingkat kepadatan populasi NEP yang mampu membunuh rayap tanah minimal 50% dalam waktu 48 jam (LD_{50}).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

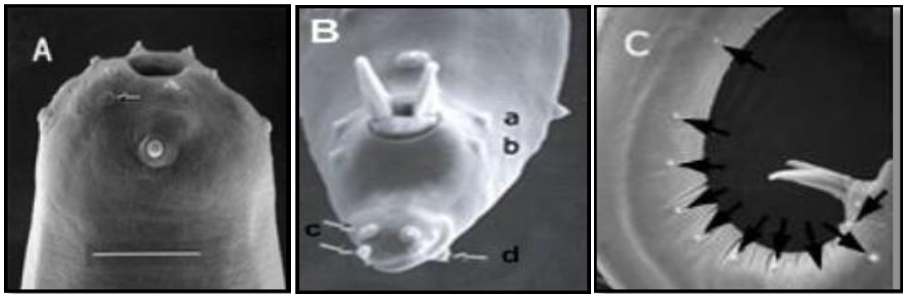
A. Nematoda Entomopatogen (NEP)

1. Morfologi Nematoda *Steinernema* sp.

Nematoda entomopatogen (NEP) merupakan mikroorganisme berbentuk cacing berukuran 700-1200 mikron dan berada di dalam tanah (Nugrohorini 2010). Ukuran nematoda sangat kecil sehingga tidak dapat di lihat dengan mata telanjang, hanya dapat di lihat dengan mikroskop. Tubuh nematoda berbentuk cacing, transparan, panjang dan agak silindris dan di selubungi oleh kutikula yang elastis.

Nematoda *Steinernema* sp. bersifat amphigonus yaitu mempunyai individu jantan dan betina serta dapat kawin untuk menghasilkan generasi baru. Telur dapat diletakkan didalam lingkungan atau di dalam tubuh serangga inang. *Steinernema* sp. dewasa mampu menghasilkan 1000 telur dalam satu periode (Weiser 1991). Sebelum menjadi dewasa, *Steinernema* sp. akan mengalami empat kali ganti kulit (stadia Juvenil 1, 2, 3, dan 4), baik yang terjadi di dalam telur, dalam lingkungan maupun di dalam tubuh inangnya.

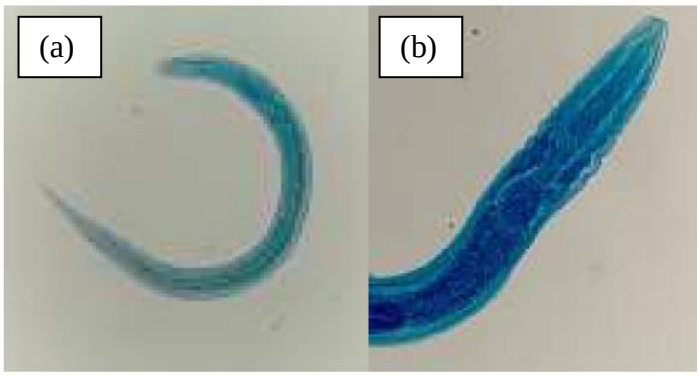
Stadia infektif adalah juvenil instar ketiga, atau biasa disebut juvenil infektif (JI). Stadia Juvenil 3 adalah stadia yang paling sering digunakan untuk mengendalikan serangga hama, dan dapat diisolasi dari semua jenis tanah di lingkungan sekitar larva serangga hama (Kaya 1990). Menurut Bauer *et al.* (1995), nematoda dari spesies *Steinernema* sp. memiliki potensi yang besar untuk mengendalikan serangga hama dari beberapa ordo serangga, diantaranya ordo Coleoptera, Lepidoptera, Hymeraptera, Diptera, Orthoptera, dan Isoptera yang hidup di permukaan tanah maupun di dalam tanah. Morfologi NEP *Steinernema* sp. dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi NEP *Steinernema* spp. (A) Bagian Kepala, (B) Bagian Posterior dan Sisi Ventral, (C) Bagian Posterior (Adam & Nguyen 2002).

Perbedaan antara famili Steinermatidae dengan famili Heterorhabditidae yaitu NEP yang termasuk famili Sterinernematidae memiliki kutikula halus pada bagian lateral esophagus. Panjang tubuh berkisar antara 221-676 µm dengan lebar 19-28 µm. Lubang eksretori dan *nerve ring* pada juvenil infektif berada dibagian anterior. Jantan dewasa memiliki testis tunggal, sepasang spikula dan gubernaculum (Bahari 2000).

Perbedaan antara genus Steinernema dan Heterorhabditis juga dapat dilihat dai ciri morfologi pada bagian anterior. NEP yang memiliki kepala halus, tidak bertanduk, dan tidak berkait adalah nematoda genus Steinernema. Nematoda yang memiliki kait pada bagian anterior adalah nematoda genus Heterorhabditis. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi NEP bagian anterior (a) Steinernema dan (b) Hererorhabditis pada perbesaran 400x (Afifah *et al*. 2013).

Selain itu, perbedaan dapat dilihat dari gejala serangan oleh NEP pada bagian kutikula yang ditunjukkan dengan adanya perubahan warna pada tubuh serangga inang. Tubuh serangga yang berwarna coklat karamel maka terinfeksi *Steinernema* sedangkan yang berwarna kemerahan terinfeksi *Heterorhabditis*. Hal ini disebabkan adanya reaksi bakteri simbion, *Xenorhabdus* spp. atau *Photorhabdus* spp. yang dikeluarkan oleh nematoda pada saat di dalam tubuh serangga inang (Nugrohorini 2010).

2. Biologi dan Siklus Hidup Nematoda Entomopatogen (NEP)

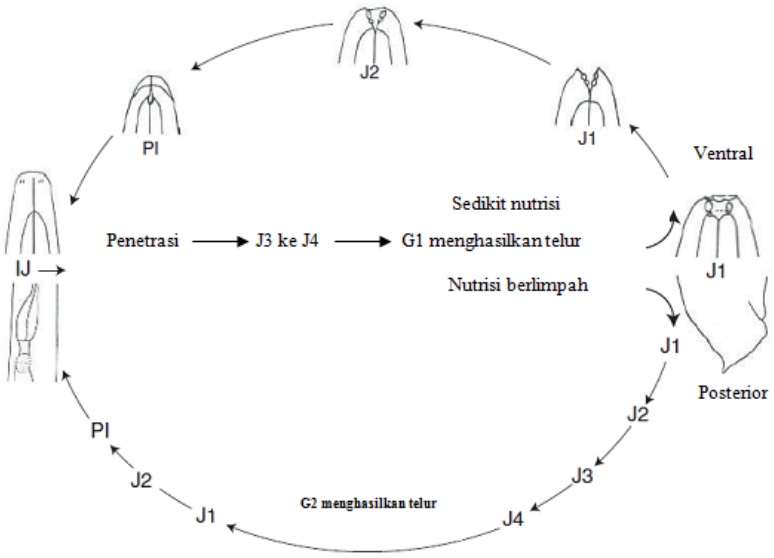
Menurut Gaugler (2006) nematoda entomopatogen (NEP) merupakan parasit serangga yang berada di dalam tanah. Nematoda entomopatogen merupakan patogen serangga yang dapat menyebabkan infeksi dan menimbulkan penyakit pada serangga hama. Penetrasi NEP dilakukan langsung melalui kutikula serangga dan lubang-lubang alami seperti spirakel, mulut, dan anus (Subagiya 2005).

NEP mempunyai habitat di dalam tanah, hampir di seluruh tempat mengandung jenis nematoda tersebut. Setiap tempat memberikan karakteristik sendiri bagi nematoda, tergantung kondisi iklim suatu daerah. Untuk mendapatkan NEP isolat lokal diperlukan kegiatan eksplorasi pada lahan setempat yang dilanjutkan dengan isolasi dan identifikasi. Perbedaan kelimpahan NEP pada berbagai lahan ditentukan oleh beberapa faktor di antaranya sumber bahan organik, kondisi lingkungan biotik dan abiotik. Kelimpahan NEP tertinggi terdapat pada tanah peternakan yaitu sebesar 67.411 ekor/ml (Indriyanti *et al.* 2015). Pada penelitian Safitri *et al.* (2013) tekstur tanah yang efektif untuk aplikasi NEP *Steinernema* sp. dalam mengendalikan hama serangga tanah adalah tanah berpasir dengan porositas 56,98%.

NEP bersimbiosis dengan bakteri penghasil toksin saat membunuh serangga inang. Famili Steinernematidae bersimbiosis dengan bakteri *Xenorhabdus* spp, sedangkan Heterorhabditidae bersimbiosis dengan bakteri *Photorhabdus* spp (Boemare 2002). Ehlers (1996) menyatakan bahwa tanpa adanya bakteri simbion, NEP tidak mampu menginfeksi serangga dengan baik,

di sisi lain bakteri simbion juga membutuhkan NEP sebagai media pelindung dari kondisi ekstrim di dalam tanah dan juga protein anti-bakteri yang dikeluarkan serangga inang ketika NEP melakukan proses penetrasi (Kaya 1993).

Nematoda entomopatogen mempunyai siklus hidup sederhana dan mempunyai stadia utama perkembangan dari telur, juvenil dan dewasa. Juvenil terbagi menjadi juvenil instar 1 (J1), juvenil instar 2 (J2), juvenil instar 3 (J3) dan juvenil instar 4 (J4). Siklus hidup nematoda mulai dari menginfeksi sampai muncul JI generasi baru berkisar 7-10 hari (Wagiman *et al*. 2003). JI meninggalkan bangkai inang 2-3 minggu setelah berkembang di dalam tubuh inang dan mencari inang yang baru (Ehlers *et al*. 2000). Pergantian instar ditandai dengan terjadinya pergantian kulit (*molting*) (Prabowo 2012). Siklus hidup NEP tercantum pada Gambar 3.



Gambar 3. Siklus Hidup Nematoda Entomopatogen: G1 (Generasi 1), G2 (Generasi 2), J1 (Tahap Juvenil 1), J2 (Tahap Juvenil 2), J3 (Tahap Juvenil 3), J4 (Tahap Juvenil 4) (Wouts 1979 dalam Adams & Nguyen 2002)

Reproduksi NEP terus berlangsung sampai sumber nutrisi dalam tubuh inang habis. JI meninggalkan inang untuk mencari inang yang baru. JI dapat bertahan tanpa makanan selama beberapa bulan sampai mendapatkan inang yang

baru (Adams & Nguyen 2002). Nematoda yang saat ini dikembangkan adalah NEP yang dapat digunakan sebagai insektisida biologi yang sangat potensial untuk mengendalikan seranggan hama baik ordo Lepidoptera, Coleoptera dan Diptera. NEP adalah salah satu agensia hayati untuk mengendalikan hama serangga tanaman. NEP yang memiliki kepala halus dan tidak berkait adalah nematoda genus Steinernema sp. Nematoda yang memilki kait pada bagian anterior adalah nematoda *Heterorhabditis* sp (Afifah *et al*. 2013).

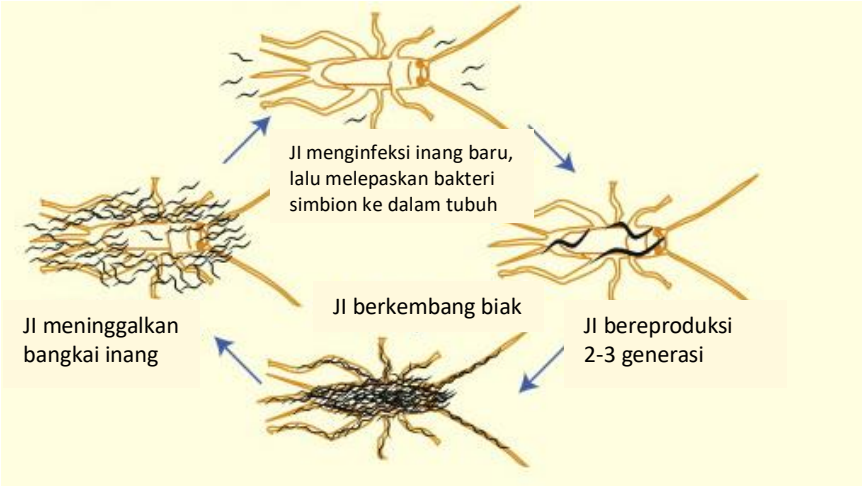
Nematoda dari golongan *Steinernema* sp. dan *Heterorhadbidis* sp. merupakan nematoda yang sering diaplikasikan sebagai biopestisida. Kedua golongan NEP tersebut telah banyak terbukti efektif dalam mengendalikan OPT di lapang, terutama hama yang ada di dalam tanah. Nematoda umumnya mempunyai habitat di dalam tanah, karena saat berada di dalam tanah nematoda akan terlindungi dari sinar matahari yang dapat menghambat perkembangbiakannya. Di dalam tanah, nematoda hidup dengan cara memanfaatkan bahan-bahan organik atau serangga maupun organisme lain sebagai makanannya (Sucipto 2008).

Nematoda entomopatogen dapat diisolasi dari berbagai tempat di seluruh belahan dunia, khususnya dari golongan Steinernematidae dan Heterorhabditidae dapat digunakan untukmengendalikan hama-hama golongan Lepidoptera, seperti: *Galleria mellonella* (L), *Spodoptera exigua* Hubner, *Agrotis ipsilon* Hufnayel yang virulensinya mencapai 100 persen (Nugrohorini 2010). Nematoda entomopatogen *Steinernema* sp. dan *Heterorhabditida* sp. juga memiliki nilai patogenitas yang tinggi untuk mengendalikan rayap tanah *Microtermes* sp. dan *Coptotermes* sp. (Qodiriyah *et al.* 2015).

3. Mekanisme Infeksi Nematoda Entomopatogen

Efektivitas *Steinernema* sp. dalam pengendalian hama berbeda tergantung patogenitasnya, sedangkan patogenitas dipengaruhi oleh mekanisme infeksi. Infeksi *Steinernema* sp. dilakukan oleh stadium larva instar III atau Juvenil Infektif (JI) terjadi melalui mulut, anus, spirakel, atau penetrasi langsung membran intersegmental integumen yang lunak. Setelah mencapai *haemocoel*

serangga, bakteri simbion yang dibawa akan dilepaskan ke dalam hemolimfa untuk berkembang biak dan memproduksi toksin yang mematikan serangga. *Steinernema* sp. sendiri juga mampu menghasilkan toksin yang mematikan. Dua faktor ini yang menyebabkan *Steinernema* sp. mempunyai daya bunuh yang sangat cepat. Serangga yang terinfeksi *Steinernema* sp. dapat mati dalam waktu 24–48 jam setelah infeksi (Brown *et al*. 2006). Mekanisme infeksi NEP dapat diihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme Infeksi Nematoda Entomopatogen (Dilman & Sternberg 2012).

Fase reproduktif antara Steinernematidae dan Heterorhabditidae terdapat perbedaan. Genarasi pertama Steinernematidae yang dihasilkan di dalam tubuh serangga inang terdiri dari nematoda betina dan jantan, sedangkan generasi pertama dari Heterorhabditidae merupakan hermaprodit, dan generasi berikutnya menghasilkan nematoda betina dan jantan. Nematoda akan bereproduksi dua sampai tiga generasi di dalam inang yang sama dan memproduksi generasi baru dalam waktu 7-10 hari. Setelah nutrisi habis JI akan keluar dari tubuh inang 2-3 minggu setelah berkembang di dalam tubuh inang dan mencari inang yang baru (Grewal 2005).

Pada hemolimfa serangga terdapat sinyal makanan (*food signal*) berupa senyawa kimia yang berasal dari serangga maupun bakteri yang jauh lebih efektif mendorong pemulihan JI ke instar selanjutnya. Sementara itu aktivitas sinyal

makanan pada media *in vitro* lebih rendah, karena hanya berasal dari bakteri dan diproduksi maksimum hanya pada akhir fase pertumbuhan eksponensial, sehingga hanya menstimulasi pemulihan sebagian populasi inokulum JI (Strauch dan Ehlers 1998 *dalam* Yoo *et al*. 2000). Selain itu, berdasarkan penelitian Indriyanti *et al.* (2017) menyebutkan bahwa kombinasi antara NEP dan *Metarhizium anisopliae* (MET) efektif mengendalikan larva *O. rhinoceros* daripada penggunaan MET atau NEP secara terpisah.

B. Nutrisi Nematoda Entomopatogen

Produksi massal nematoda entomopatogen sangan bergantung pada optimalisasi nutrisi media *in vitro.* Hal tersebut dikarenakan komposisi media sangat berpengaruh terhadap dalam kuantitas dan kualitas nematoda entomopatogen yang dihasilkan (Ehlers *et al.* 2000). Media yang baik untuk perbanyakan NEP harus memenuhi kebutuhan nutrisi dari nematoda seperti karbohidrat, protein dan lemak (Shapiro & Gaugler 2002).

Lemak merupakan cadangan energi utama bagi nematoda, baik yang patogenik terhadap serangga maupun yang parasitik terhadap tumbuhan untuk proses metabolisme, daya bertahan, dan menjelajah dalam pencarian inang (Yoo *et al*. 2000). Kandungan lemak pada JI dapat mencapai 40% berat tubuhnya (Griffin *et al*. 2005). NEP terbatas kemampuannya dalam mensintesis lipid sehingga mengandalkan bakteri simbion untuk mendapatkan lipid esensial (Chaerani *et al.* 2012).

Sementara itu profil lipid seluler bakteri simbiotik mirip dengan yang ada pada media tumbuhnya sehingga jika bakteri ditumbuhkan pada media mengandung lipid asal serangga maka sel-selnya juga akan mengakumulasi lipid dengan komposisi asam lemak yang menyerupai komposisi asam lemak pada serangga inang (Hatab & Gaugler 2001).

Penambahan komponen asal serangga juga akan meningkatkan potensi reproduksi NEP (Chaerani *et al.* 2012). *Steinernema kushidai* misalnya, satu spesies endemik di Jepang yang sulit dibiakkan pada media *in vitro*, meningkat reproduksinya dari kurang dari 2 x 10^5 menjadi lebih dari 5 x 10^5 JI ml^{-1} jika

media perbanyakannya ditambah tepung kepompong ulat sutera (Ogura & Haraguchi 1994).

Berbagai media buatan yang telah dimodifikasi untuk pembiakan nematoda pada dasarnya mengandung bahan-bahan yang kaya akan nutrisi yang dapat mempercepat perkembangbiakannya dengan kadar air yang disesuaikan kelembabannya. Hal tersebut dikarenakan kelembaban merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas nematoda entomopatogen (Indriyanti *et al*. 2015).

C. Tepung Jangkrik (*Grillus* sp.)

Kemampuan nematoda entomopatogen dalam menginfeksi inangnya dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah kandungan nutrien. Salah satu serangga yang dapat ditambahkan ke dalam medium pembiakan nematoda entomopatogen adalah jangkrik. Jangkrik (*Grillus* sp.) merupakan salah satu serangga yang banyak ditemukan di alam. Jangkrik dapat menjadi hama bagi perkebunan maupun predator bagi hama yang lebih kecil seperti belalang dan ulat bulu (Saeed *et al.* 2000). Selain itu, jangkrik dapat digunakan sebagai bahan untuk pakan ternak, unggas, maupun manusia. Berdasarkan Wang *et al.* (2005), 100 gram jangkrik mengandung protein sebesar 58,3% dan kitin sebesar 8,7%.

Jangkrik tergolong serangga yang dalam kehidupannya mengalami metamorfosis tidak sempurna. Kehidupannya dimulai dari fase telur, kemudian menetas menjadi nimfa (serangga muda), melewati beberapa kali stadium instar terlebih dahulu sebelum menjadi imago (serangga dewasa) yang ditandai dengan terbentuknya dua pasang sayap (Hasegawa & Kubo 1996). Pada umumnya, jangkrik diperjual belikan di pasar tradisional berupa jangkrik anakan (fase instar) dalam bentuk hidup serta memiliki ukuran tubuh, siklus hidup, dan produktivitas yang berbeda satu sama lain (Widiyaningrum 2009).

Jangkrik (*Gryllus mitratus burm*) merupakan salah satu serangga yang mudah dibudidayakan dan cukup potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Jangkrik mempunyai kandungan protein yang cukup tinggi (40-55%), sebagian

besar asam amino penyusun protein jangkrik merupakan asam amino esensial dan semi esensial yang baik untuk NEP. Jangkrik juga mengandung asam lemak omega 3, 6 dan 9 yang baik untuk pertumbuhan sel (Panjaitan *et al*. 2012).

Tepung jangkrik merupakan hasil olahan dari jangkrik segar yang dikeringkan dan dihaluskan menjadi tepung untuk campuran pakan. Udjianto (1999) menjelaskan bahwa jangkrik dapat diolah menjadi tepung seperti halnya udang, namun harga tepung jangkrik relatif lebih murah jika dibandingkan dengan tepung udang. Saefullah (2006) menjelaskan bahwa tepung jangkrik memiliki kandungan BK, PK, LK dan SK berturut-turut sebesar 86%; 55,96%; 12,45%; dan 7,94%.

D. Rayap Tanah (*Macrotermes* sp.)

Rayap merupakan serangga yang termasuk ke dalam Ordo Isoptera. Rayap hidup secara berkoloni, dan memiliki tatanan kasta dalam koloninya. Dalam satu koloni rayap terdiri atas tiga kasta, yaitu kasta reproduktif, kasta prajurit dan kasta pekerja dengan pembagian tugas yang jelas. Terdapat tiga famili rayap di wilayah Indonesia yaitu: Kalotermitidae, Rhinotermitidae, dan Termitidae. Dalam biosfera, rayap memiliki peranan penting sebagai serangga pengurai atau dekomposer yang bermanfaat bagi lingkungan (Savitri *et al.* 2016).

Siklus hidup *Macrotermes sp.* mengalami metamorfosis tidak sempurna (paurometabola), yaitu telur, nimfa dan imago. Rayap memiliki tiga bagian utama tubuh yaitu, kepala/caput, dada/thorax dan perut/abdomen dan memiliki sistem sosial terbagi menjadi kasta-kasta antara lain raja, ratu, pekerja dan prajurit. Nimfa muda yang keluar dari telur akan berkembang menjadi kasta pekerja. Lama siklus hidupnya yaitu fase telur 50-60 hari. Ratu rayap yang telah berumur 5 tahun mampu menghasilkan telur sampai 36.000 butir siklus hidup rayap membutuhkan waktu 4-6 bulan (Hasan 1986).

Macrotermes gilvus banyak merusak kayu di Jawa, Sumatera, dan Kalimantan. Pusat serangan rayap ini umumnya terdapat di dalam tanah, karena sifatnya yang *kriptobiotik* dan membutuhkan air untuk melembabkan kayu, jalan

menuju obyek serangannya biasanya tertutup dengan bahan-bahan tanah, berupa terowongan yang berbentuk pipih yang dibangun di atas tanah, tembok, dan kayu-kayu (Nandika *et al*. 2003).

Rayap tanah jenis *Macrotermes gilvus* Hagen membuat sarangnya dalam bentuk lorong-lorong di dalam kayu atau lorong-lorong di dalam tanah, tetapi pada jenis rayap tertentu sarangnya berbentuk bukit dengan kontruksi sarang yang kokoh dan sangat luas. Sarang rayap terbuat dari dari tanah liat, pasir, humus dan air liur rayap (berfungsi sebagai perekat), sehingga menghasilkan bangunan yang keras (Subekti *et al*. 2012).

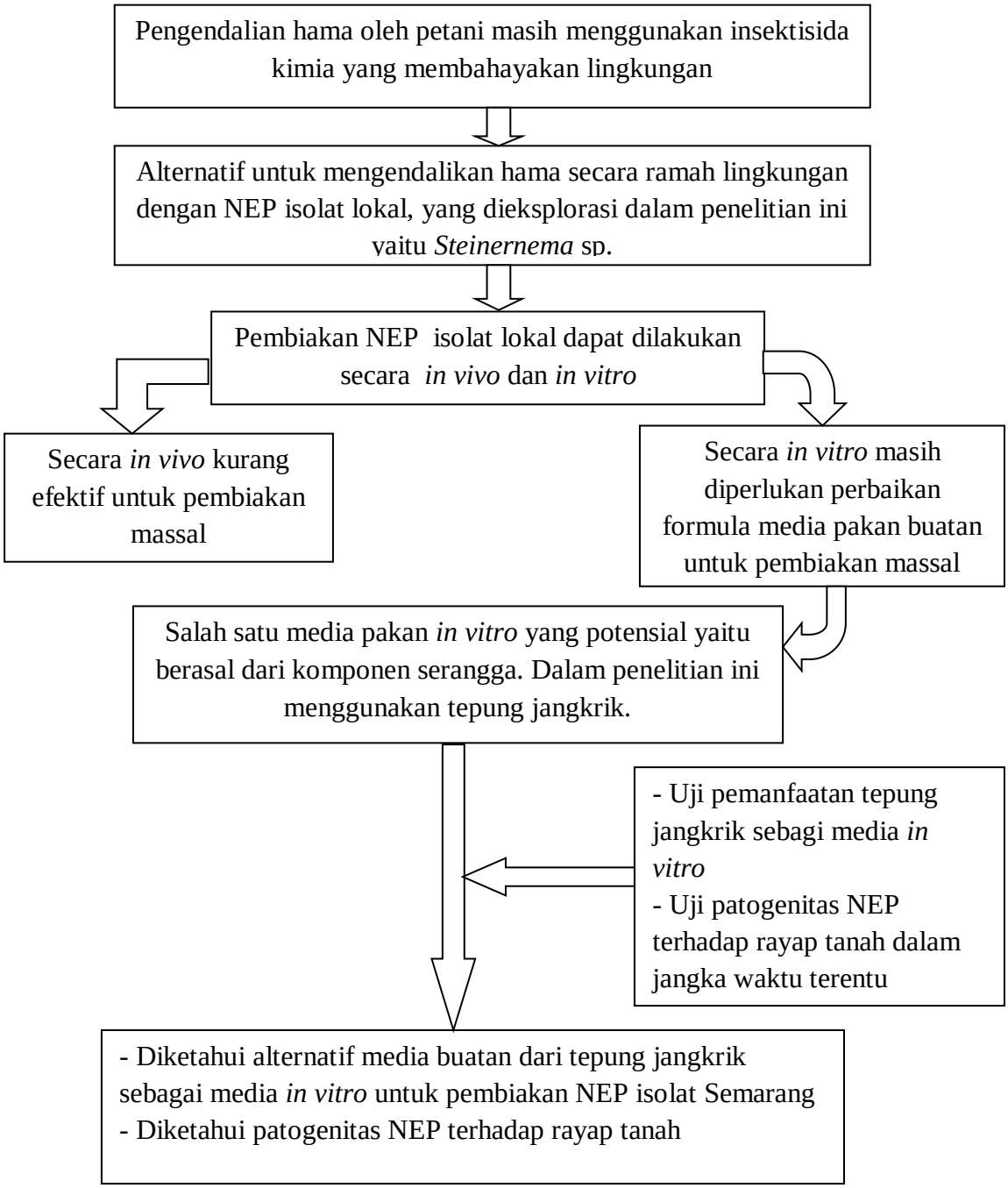
E. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian tentang perbanyakan nematoda entomopatogen pada media pakan buatan telah dilakukan. Indriyanti *et al*. (2014) menyebutkan bahwa dari tujuh media yang telah diuji, media terbaik untuk perkembangbiakan NEP adalah pada media campuran tepung kedelai dan *dog food* 1:1 dengan menghasilkan kelimpahan NEP tertinggi sebanyak 3,5 $x10^4$ JI/ml pada minggu pertama pembiakan. Pengujian yang dilakukan Chaerani *et al*. (2012) mengenai perbanyakan NEP pada media *in vitro* cair statik menebutkan bahwa media yang mengandung usus ayam 40,0% menghasilkan 5,8 x 10^5 JI/ml NEP *Steinernema* sp. Hasil penelitian Prabowo dan Indrayani (2012) menyebutkan formula yang paling baik mempertahankan JI *Steinernema* sp. selama empat minggu adalah agar + spons dan pellet padi sekam yang berkisar antara 80-99%. Hal tersebut dikarenakan media agar dan spons dapat mempertahankan tingkat kelembapan yang sesuai untuk *Steinernema* sp. Selain itu, formula tersebut juga memberikan tingkat viabilitas dan efektifitas *Steinernema* sp. paling tinggi.

Sebagai agen pengendali hayati, nematoda entomopatogen perlu diuji patogenitasnya pada serangga hama, salah satunya adalah rayap tanah. Menurut Widiyaningrum *et al.* (2016) NEP isolat Semarang *Steinernema* sp. efektif mempengaruhi tingkat patogenitas rayap tanah ≥50% setelah 48 jam pengamatan. Berdasarkan analisis probit, patogenitas (LC_{50}) NEP isolat Semarang dalam waktu 48 jam diperlukan konsentrasi 242 JI/ml, sedangkan

LC_{95} diperlukan 1012 JI/ml. Hasil penelitian Qodiriyah *et al.* (2015) menyebutkan NEP *Steinernema* sp. memiliki nilai patogenitas yang tinggi pada rayap tanah *Coptotermes* sp. dan *Microtermes* sp. Nilai LC_{50} pada rayap tanah *Coptotermes* sp. diperlukan 15,22 JI/ml, sedangkan pada rayap *Microtermes* sp. diperlukan 20,39 JI/ml. Nilai LT_{50} pada rayap tanah *Coptotermes* sp. diperlukan 1,35 jam dan *Microtermes* sp. 1,82 jam. Kematian tertinggi akibat NEP *Steinernema* sp. pada rayap tanah *Coptotermes* sp. adalah 85,2% dan *Macrotermes* sp. adalah 81,2%.

F. Kerangka Berfikir



Gambar 5. Kerangka Berpikir Penelitian tentang Pembiakan Nematoda Entomopatogen pada Media Tepung Jangkrik dan Patogenitasnya terhadap Rayap Tanah.

G. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini yaitu

1. Media tepung jangkrik berpengaruh terhadap kepadatan populasi NEP isolat Semarang.
2. Diketahui kepadatan populasi NEP terbaik yang mampu mematikan rayap tanah 50% dalam waktu 48 jam (LD_{50}).
3. NEP hasil pembiakan dalam tepung jangkrik berpengaruh terhadap patogenitas rayap tanah.

BAB V
PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa

1. Kepadatan populasi NEP isolat Semarang tertinggi selama pembiakan dua minggu ditemukan pada penggunaan komposisi media tepung jangkrik 1 g.
2. Kepadatan populasi NEP isolat Semarang yang menyebabkan patogenitas rayap tanah 50% dalam waktu 48 jam (LD_{50}) yaitu ±245 JI/ml.
3. Patogenitas rayap tanah yang diinfeksi NEP isolat Semarang hasil pembiakan pada tepung jangkrik mengalami patogenitas tertinggi pada konsentrasi 300 JI/ml selama 48 jam.

B. Saran

Media tepung jangkrik yang digunakan untuk pembiakan NEP isolat Semarang dapat dijadikan sebagai alternatif media *in vitro* yang praktis dan ekonomis karena menghasilkan jumlah kepadatan populasi yang lebih banyak daripada pembiakan secara *in vivo*. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas *Steinernema* sp. terhadap rayap tanah dalam skala lapang.

DAFTAR PUSTAKA

Adams BJ & Nguyen KB. 2002. *Taxonomy and Systematics*. in: Gaugler R (Ed). *Entomopathogenic Nematology*. New York: CABI International. Pp 1-28.

Afifah L, Bambang TR & Hagus T. 2013. Eksplorasi Nematoda Entomopatogen pada Lahan Tanaman Jagung, Kedelai dan Kubis di Malang serta Virukensinnya terhadap *Spodoptera litura* Fabricius. *J. HPT*. 1(2): 1-9.

Bahari. 2000. Inventarisasi Nematoda Entomopatogen *Steinernema* spp dan *Heterorhabditis* spp pada Tanaman Holtikultura Jawa Timur. *Karya Tulis Ilmiah*. Jember: Universitas Jember.

Boemare N. 2002. "Taxonomy and Systematics" in: Gaugler, R. (Ed). *Entomopathogenic Nematology*. New York: CABI. pp. 35-56.

Brown SE, Cao AT, Dobson P, Hines ER, Akhurst RJ, & East PD, 2006. Txp40, a Ubiquitous insecticidal toxin protein from *Xenorhabdus* an *Photorhabdus* Bacteria Environ. *Microbiol*. 72: 1653-1662.

Butarbutar R, Tobing MC, & Tarigan MU. 2013. Pengaruh Beberapa Jenis Pestisida Nabati Untuk Mengendalikan Ulat Grayak *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae) pada Tanaman Tembakau Deli di Lapangan. *J. Online Agroekoteknologi*. Vol. 1 No. 4. ISSN No. 2337-6597.

Chaerani, Harjosudarmo J, Suhendar MA & Koswanudin D. 2012. Produksi Massal dan Formulasi Nematoda Patogen Serangga (NPS) *Steinernema* dan *Heterorhabditis* untuk Pengendalian Penggerek Batang Padi. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*. Bogor: Balai Penelitian Biteknologi Tanaman Pangan.

Chaerani, Suhendar MA & Harjosudarmo J,. 2012. Perbanyakan Nematoda Patogen Serangga (Rhabditida: *Steinernema* dan *Heterorhabditis*) pada Media *In Vitro* Cair Statik. *J. AgroBiogen*. 8(1):19-26.

Dilman AR & Sternberg PW. 2012. Entomophatogenic Nematodes. *Current Biology*. Vol. 22 No. 11.

Ehlers RU. 1996. Current and Future Use of Nematodas in Biocontrol: Practice and Comercial Aspects with Regard to Regulatory Policy Issues. *J. of Biocontrol Science and Technology* 6 (1): 303-316.

Ehlers RU, Niemann I, Hollmer S, Strauch O, Jende D, Shanmugasundaram M, Mehta UK, Easwaramoorthy SK, & Burnell A. 2000. Mass production potential of the bactohelminthic biocontrol complex *Heterorhabditis indica - Photorhabdus luminescens*. *Biocontrol Sci. Tech* 10: 607-616.

Grewal. 2005. *Nematodas as Biocontrol Agents*. Page 45-64. 11.13 am.

Griffin CT, Boemare NE & Lewis ZE. 2005. Biology and Behaviour. In P.S. Grewal, R.-U. Ehlers, and D.I. Shapiro-Ilan (*eds*.) *Nematodas as Biocontrol Agents*. U.K: CAB International, Wallingford. p. 47-64.

Hasan T. 1986. *Rayap dan Pemberantasannya (Penanggulangan dan Pencegahan).* Jakarta: Yasaguna

Hasegawa Y & Kubo H. 1996. *Jangkrik. Seri Misteri Alam.* Jakarta: Penerbit PT. Elex Media Computindo, Gramedia.

Hastuti YP. 2011. Nitrification and Denitrification in pond. *J. Akuakultur Indonesia* 10(1): 89-98.

Hatab MAA & Gaugler R. 2001. Diet composition and lipids of *in vitro*-produced *Heterorhabditis bacteriophora. Biological Control* 20(1):1-7.

Indrayani IGAA & Gothama AAA. 2005. Efektifitas Nematoda Entomopatogen *Steinernema* sp. pada Hama Utama Beberapa Tanaman Perkebunan dan Hortikultura. *J. Littri.* Vol. 11 No. 2: 60 – 66.

Indriyanti DR, Awaliyah NF, & Widiyaningrum P. 2015. Perbanyakan Nematoda Entomopatogen (NEP) pada Berbagai Media Buatan Entomopathogenic Nematodes (ENPS) Rearing on Various Artificial Culture Media. *Sainteknol*. Vol. 13 No. 1.

Indriyanti DR, Pribasari ADH, Puspitarini D, & Widitaningrum P. 2015. Kelimpahan dan Pola Penyebaran Nematoda Entomopatogen sebagai Agensia Pengendali Serangga Hama pada Berbagai Lahan di Semarang. *J. Lahan Suboptimal.* 3(1): 55-61. ISSN 2252-6188.

Indriyanti DR & Muharromah NL. 2016. Mass Cultivation of Entomopathogenic Nematode in Artificial Media. *Biosaintifika.* 8(1): 113-120.

Indriyanti DR, Widiyaningrum P, Haryuni, Slamet M, & Maretta YA. 2017. Effectiveness of *Metarhizium anisopliae* and Entomopathogenic Nematodes to Control *Oryctes rhinoceros* Larvae in the Rainy Season. *Pakistan J. of Biological Sciences.* 20(7). ISSN 1028-8880

Ishibashi N, & Kondo E. 1990. *Behavior of Infektive Juveniles*, 139-144Pp. *In* Gaugler R, & Kaya HK. Eds. *Entomopathogenic Nematodes in Biological Cantrol*. Florida: CRC Press Inc.

Kaya MG. 1993. *Efficiacy Against Soil-Inhibitting Insect Pests.* In: Gaugler Kaya H K. (Ed). *Entomophatogenic Nematodas in Biological Control.* Florida: CRC Press.

Khairunnisa S, Pinem MI, & Zahra F. 2014. Uji Efektifitas Nematoda Entomopatogen sebagai Pengendali Penggerek Pucuk Kelapa Sawit (*Oryctes rhinoceros* L.) (Coleoptera: Scarabaidae) di Laboratorium. *J. Online Agroteknologi*. 2(2): 607-620. ISSN No. 2337-6597.

Mulyaningsih L. 2010. Aplikasi Agensia Hayati atau Insektisida Dalam Pengendalian Hama *Plutella xylostella* Linn. dan *Crocidolomia binotalis* Zell. untuk Peningkatan Produksi Kubis (*Brassica oleracea L.*). *Media Soerjo.* 7(2).

Nadeak ESM, Tarro R, & Iwan I. 2015. Efektifitas Variasi Umpan dalam Penggunaan Fly Trap di Tempat Pembuangan Akhir Ganet Kota Tanjungpinang. *J. Kesehatan Masyarakat Andalas*. 10(1): 82-86

Nandika DY. Rismayadi & Diba F. 2003. *Rayap, Biologi dan Pengendaliannya*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Ninasari R. 2014. Komposisi Nutrisi dan Tanin dalam Beberapa Bahan Pakan Alami Burung Kicau. *Laporan Penelitian*. IPB (Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan). pp. 28.

Nugrohorini. 2010. Eksplorasi Nematoda Entomopatogen Pada Beberapa Wilayah di Jawa Timur. *J. Pertanian MAPETA XII* (2): 72-144.

Ogura N. & Haraguchi N. 1994. Artificial media for xenic culture of *Steinernema kushidai* (Nematoda: Steinernematidae). *Nematologica.* 40:613-616.

Panjaitan I, Sofiana A, & Priabudiman Y. 2012. Suplementasi Tepung Jangkrik Sebagai Sumber Protein Pengaruhnya Terhadap Kinerja Burung Puyuh *(Coturnix coturnix japonica)*. *J. Ilmiah Ilmu-ilmu Peternakan.* Vol. XV No 1.

Prabowo H. 2012. Pemanfaatan Nematoda Patogen *Steinerenema* spp Isolat Malang dan Nusa Tenggara Barat dalam Pengendalian *Spodoptera litura* L. yang Ramah Lingkungan. *J. Bumi Lestari* 12(2): 350-356.

Prabowo H & Indrayani IGAA. 2013. Viabilitas dan Efektifitas Formula Nematoda *Steinernema* sp. terhadap Hama Penggerek Buah Kapas *Helicoverpa armigeraI* HUBNER. *J. Littri.* Vol 18 No. 4: 151-155.

Qodiriyah, Sulistyanto D, & Purwaningsih. 2015. Agens Pengendali Hayati Nematoda Entomopatogen *Heterorhabditis* sp. dan *Steinernema* sp. sebagai Pengendali Hama Rayap Tanah *Coptotermes* sp. dan *Microtermes* sp. di Kabupaten Lumajang. *J. Ilmu Dasar.* 6(1): 43-48.

Ramakuwela T., Hatting J., Laing MD, Hazir S, & Thiebaut N. 2016. In vitro solid-state production of *Steinernema innovationi* with cost analysis. *Biocontrol Science and Technology*. 26(6): 792–808.

Sa'adah N & Widyaningsih S. 2018. Pengaruh Pemberian CO2 terhadap pH Air pada Pertumbuhan *Caulerpa racemosa var. uvifera. J. Kelautan Tropis.* Vol. 21(1):17–22 ISSN 0853-7291.

Saeed AM, Saeed, & Yousuf M. 2000. New Species and Records of Some Cricket (*Grillinae: Grillidae: Orthoptera*) from Pakistan. *Internasional Journals of Agriculture and Biology* 2(3): 175-182.

Saefullah M. 2006. Suplementasi Tepung Jangkrik dalam Ransum Komersial Terhadap Performa Ayam Petelur. *Skripsi.* IPB (Teknologi Produksi Ternak. Fakultas Peternakan).

Safitri M, Ratnasari E, & Ambarwati R. 2013. Efektifitas *Steinernema* sp. dalam Pengendalian Hama Serangga Tanah pada Berbagai Tekstur Tanah. *LenteraBio.* 2(1): 23-31.

Savitri A, Martini, & Yuliawati S. 2016. Keanekaragaman Jenis Rayap Tanah dan Dampak Serangan pada Bangunan Rumah di Perumahan Kawasan Mijen Kota Semarang. *J. Kesehatan Masyarakat.* Vol. 4, Nomor 1, ISSN: 2356-3346.

Shapiro DI & Gaugler R. 2002. Production Technology for Enthomopathogenic Nematodas and Their Bacterial Symbionts. *J. of Industrial Microbiology and Biotechnology.* 28: 137-146.

Simoes N & Rosa J S. 1996. Pathogenicity and Host Spesificity of Enthomopatogic Nematodes. *J. Biocontrol Sci and technol* 6 (1): 403-4011.

Subagiya. 2005. Pengendalian Hayati dengan Nematoda Entomogenus *Steinernema carpocapsae* (All) Strain Lokal terhadap Hama *Crocidolomia binotalis* Zell. di Tawangmangu. *Agrosains* 7(1): 34-39.

Subekti N. 2012. Kandungan Bahan Organik dan Akumulasi Mineral Tanah pada Bangunan Sarang Rayap Tanah *Macrotermes gilvus* Hagen (Blattodea:Termitidae). *Biosaintifika*. 4 (1).

Sucipto. 2008. Persistensi Nematoda Entomopatogen *Heterorhabditis* (All strain) Isolat Lokal Madura Terhadap Pengendalian Rayap Tanah *Macrotermes sp*. (Isoptera: Termitidae) di Lapang. *Embryo*. 5(2).

Sumartini. 2016. Biopestisida untuk Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. *Iptek Tanaman Pangan*. Vol. 11 No. 2.

Sunarto T & Natasasmita S. 2014. Pemanfaatan Nematoda Entomopatogen (*Steinernema* sp.) dan Pestisida Organik untuk Pengendalian Hama Padi. *J. Aplikasi Iptek untuk Masyarakat*. 3(1): 16-18. ISSN 1410-5675.

Tarumingkeng RC. 1992. *Insektisida: Sifat, Mekanisme Kerja, dan Penggunaannya*. Jakarta: Universitas Kristen Krida Wacana.

Tambunan, B. & D. Nandika. 1989. *Deteriorasi Kayu oleh Faktor Biologis*. Bogor: PAU Bioteknologi IPB.

Udjianto A. 1999. *Ruang Lingkup Budidaya Pemeliharaan Jangkrik Kalung Kuning*. Lokakarya Fungsional Non Peneliti. Bogor: Balai Penelitian Ternak.

Wagiman FX, Triman B & Astuti RS. 2003. Keefektivan *Steinernema* spp. terhadap *Spodoptera exigua*. *J. Perlintan*. *Ind*. 9:22-27.

Wang D, SW Zhanf, CX Zang, YY Bai, SH An, & N Xu. 2005. Evaluation on Nutritional of Field Crickets as a Poultry Feedstuff. *Asian-Australia J. of Animal Science* 18(5): 667-670.

Weiser J. 1991. *Biological Control of Vectors Manual for Collecting, Field Determination and Handling of Biofactors for Control Vectors*. England: John Willey and Sons

Widiyaningrum P. 2009. Pertumbuhan Tiga Spesies Jangkrik Lokal yang Dibudidayakan pada Padat Penebaran dan Jenis Pakan Berbeda. *Berk. Penel. Hayati*. 14(173-177).

Widiyaningrum P, Subekti N, dan Priyono B. 2016. Uji Patogenitas Nematoda Entomopatogen Isolat Semarang *Steinernema* sp. pada Rayap Tanah *Marotermes* sp. *Seminar Nasional*. Denpasar: UNMAS.

Widiyaningrum P, Satria AB, Ngabekti S. 2017. Viability of Two Local Entomopathogenic Nematodes on Various pH Media and Their Pathogenicity Test Against *Macrotermes* sp. In: A.B.M. Rasli (Ed.).

Asian International Multidisciplinary Conference 1-2 May 2017 (pp. 24-25). Malaysia: Johor Bahru.

Widiyaningrum P, Khasanah M, & Indriyanti DR. 2018. Mealworm Powder as Culture Media of Local Isolate Semarang Entomopathogenic Nematodes. *Biosaintifika.*10 (1): 191-197.

Yoo SK, Brown I & Gaugler R. 2000. Liquid media development for *Heterorhabditis bacteriophora*: lipid source and concentration. *Appl. Microbiol. Biotech.* 54: 759-763.