

STUDI POLA PERSEBARAN NEMATODA ENTOMOPATOGEN DI LAHAN TEBU KECAMATAN PLOSOKLATEN KABUPATEN KEDIRI

Diterima:
16 Desember 2025

Revisi:
21 Mei 2026

Terbit:
27 Mei 2026

¹Arman Adrian Maulana, ²Ramadhani Mahendra Kusuma,
³Noni Rahmadhini

^{1,2,3}Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan
Nasional “Veteran” Jawa Timur
^{1,2,3}Surabaya, Indonesia

E-mail: ¹arman190502@gmail.com,
²ramadhani_mahendra.agro@upnjatim.ac.id,
³nonirahmadhini.agrotek@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan NEP sebagai APH memiliki beberapa keunggulan karena dapat bertahan di dalam tanah tanpa adanya inang. Terdapat 30 famili nematoda yang menjadi parasit bagi invertebrata dan tujuh diantaranya berpotensi sebagai NEP seperti Mermithidae, Allantonematidae, Neotylenchidae, Sphaerularidae, Rhabditidae, Steinernematidae, dan Heterorhabditidae. Kediri memiliki potensi yang cukup besar sebagai sumber isolat NEP mengingat kondisi agroekosistem yang memungkinkan keberadaan NEP dengan luas lahan pertanian sebesar 82.884 ha setara dengan 64% total luas lahan. Penelitian ini bertujuan mempelajari pola persebaran kerapatan NEP pada lahan tebu berdasarkan titik pengambilan sampel. Lahan dengan luas 600 m² dibagi menjadi 5 titik sampel secara menyilang. Pengambilan sampel tanah asal 5 titik sampel dibagi menjadi 10 titik sub-sampel dengan pola bintang. Isolasi dilakukan dengan metode baiting dan white trap, sedangkan perhitungan kerapatan dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap ulangan. Analisis statistik menggunakan pengujian Kruskal-Wallis dilanjutkan dengan visualisasi menggunakan ArcGIS. Kerapatan terendah berada pada titik 1 dan 2, meningkat sedikit pada titik 4, lalu meningkat kembali di titik 5 dan paling tinggi terletak di titik 3. Secara visual, agregasi NEP di lapangan mengikuti pola distribusi terpusat. Perbedaan kerapatan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti intensitas penyinaran yang berpengaruh terhadap suhu dan kelembaban tanah.

Kata Kunci: Interpolasi; APH; Kriging; Agregasi

ABSTRACT

Entomopathogenic nematodes (EPNs) are potential Biological Control Agents (BCAs) because they can survive in the soil even in the absence of insect hosts. Among the 30 nematode families known to parasitize invertebrates, seven families have potential as EPNs, namely Mermithidae, Allantonematidae, Neotylenchidae, Sphaerularidae, Rhabditidae, Steinernematidae, and Heterorhabditidae. Kediri Regency has considerable potential as a source of EPN isolates due to its favorable agroecosystem conditions, with approximately 82,884 ha of agricultural land, representing 64% of the total land area. Therefore, this study aimed to determine the spatial distribution pattern of EPN density in sugarcane fields based on sampling points. The study was conducted on a 600 m² sugarcane field divided into five sampling points arranged diagonally. At each sampling point, soil samples were collected from 10 sub-sampling points arranged in a star pattern. EPN isolation was performed using baiting and White trap methods, while density calculations were repeated three times for each replication. Furthermore, data were analyzed using the Kruskal–Wallis test and visualized spatially using ArcGIS. The results showed that the lowest EPN density was

observed at sampling points 1 and 2, followed by a slight increase at point 4, whereas higher densities were found at points 5 and 3, with point 3 showing the highest density. Spatial visualization indicated that EPN distribution in the field tended to form a centralized aggregation pattern. This variation in density was presumably influenced by environmental factors, particularly light intensity, which affected soil temperature and moisture conditions.

Keyword: Interpolation; BCAs; Kriging; Aggregation

PENDAHULUAN

Setiap tahunnya terjadi peningkatan penggunaan pestisida di kalangan petani yang menandakan ketergantungan petani terhadap pestisida kimia dalam budidaya tanaman. Penggunaan pestisida secara ekssesif menjadi ancaman nyata bagi keberlanjutan pertanian. Dampak nyata yang ditimbulkan yaitu ancaman terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Tantangan ini semakin meningkat akibat munculnya hama yang resisten yang disebabkan seleksi gen tahan pestisida akibat penggunaan pestisida kimia secara terus menerus (Meray *et al.*, 2024). Keadaan tersebut diperburuk dengan ketidakseimbangan populasi hama dan predator, yang mana berujung pada ledakan populasi hama (John & Babu, 2021). Dewasa ini masyarakat dan pelaku usahatani mulai beralih ke cara budidaya yang lebih berkelanjutan. Hal tersebut dapat terlihat dari peningkatan luas lahan pertanian organik pada beberapa komoditas dan peningkatan tren penelitian mengenai pertanian organik (David *et al.*, 2024). Salah satu topik penelitian pertanian organik adalah perlindungan tanaman yang berkelanjutan seperti pengelolaan hama terpadu. Konsep Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) menjadi sebuah konsep pengendalian yang berkelanjutan dengan model pengendalian holistik (Kusuma dkk., 2025). PHT berdasarkan pada pemahaman ekosistem, biaya, toleransi tanaman, kelimpahan hama dan musuh alami, budidaya tanaman sehat, monitoring berkala dan pemberdayaan petani (Hasibuan, 2020). Berlandaskan hal tersebut pengendalian biologi lebih diutamakan dalam PHT dibandingkan pengendalian menggunakan pestisida kimia (Baker *et al.*, 2020).

Penggunaan Agens Pengendali Hayati (APH) dalam PHT dilandaskan pada konsep keseimbangan ekosistem melalui pengaturan kepadatan populasi hama. APH dapat berupa serangga predator, serangga parasitoid, protozoa, bakteri, virus, cendawan dan organisme lainnya (Sopialena, 2018). Salah satu organisme yang dikembangkan sebagai APH adalah Nematoda Entomopatogen (NEP). Nematoda adalah organisme menyerupai cacing dengan tubuh transparan, lunak dan tidak bersegmen. Nematoda memiliki struktur *pseudocoelom* berlapis mesoderm. Entomopatogen berasal dari bahasa Yunani Kuno yang diartikan sebagai agen biologis penyebab penyakit pada serangga. Menurut Rahayu *et al.*, (2021), sumber entomopatogen dapat berasal dari jaringan tumbuhan atau mikroorganisme endofit, serangga yang terinfeksi atau cadaver, dan tanah. Pemanfaatan NEP sebagai APH memiliki beberapa keunggulan karena dapat bertahan di dalam tanah tanpa adanya inang (Hipti *et al.*, 2021). Terdapat 30 famili nematoda yang menjadi parasit bagi invertebrata dan tujuh diantaranya berpotensi sebagai NEP seperti Mermithidae, Allantonematidae, Neotylenchidae, Sphaerularidae, Rhabditidae, Steinernematidae, dan Heterorhabditidae (Stock & Goodrich-Blair, 2012). Terdapat dua famili NEP yang banyak diteliti karena efektivitasnya dalam pengendalian biologi, yaitu Steinernematidae dan Heterorhabditidae (Lacey & Georgis, 2012).

NEP famili Steinernematidae bersimbiosis dengan bakteri genus *Xenorhabdus* yang menyebabkan gejala perubahan warna kutikula menjadi coklat kehitaman (Erdiansyah & Fauziah, 2024). Selain berperan dalam timbulnya gejala, hasil penelitian Cahyono *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa bakteri simbiosis *Steinernema* sp. mampu menyebabkan mortalitas larva *Crociodolomia pavonana* hingga 100%. Sedangkan NEP famili Heterorhabditidae bersimbiosis dengan bakteri genus *Photorhabdus* spp. (Rodou *et al.*, 2010). NEP melalui bakteri simbiosisnya juga mampu menjadi *repellent* bagi nematoda lainnya termasuk NPT. Bakteri simbiosis mencegah

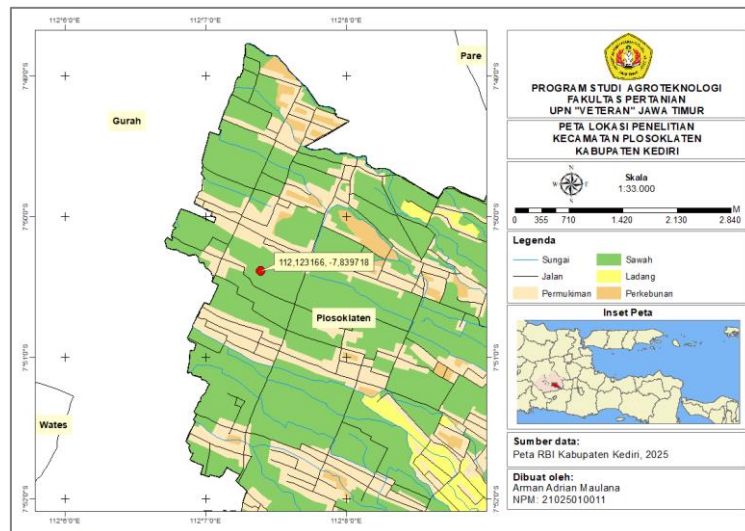
timbulnya gangguan terhadap NEP sebagai inangnya ketika berkembangbiak di dalam tubuh serangga yang terinfeksi (Kenney & Eleftherianos, 2016). Penelitian Felicitas *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa inokulasi NEP mampu menurunkan penetrasi *Meloidogyne incognita* pada perakaran tomat. NEP memiliki inang spesifik namun dengan kisaran yang sangat luas, beberapa penelitian menunjukkan bahwa NEP efektif mengendalikan serangga ordo Lepidoptera, Coleoptera, Isoptera dan Diptera (Khairunnisa & Zahara, 2014; Satria *et al.*, 2018; Torrini *et al.*, 2020; Maulida *et al.*, 2021). Dua strategi bagi NEP untuk mencari inangnya, yaitu penyergapan (*ambush*) dan penjelajahan (*cruiser*). Strategi penyergapan dilakukan oleh beberapa spesies NEP seperti *S. carpocapsae* yang menunggu calon inangnya mendekat lalu menggapainya dengan lompatan setinggi 5 mm, adapun inang target utamanya adalah arthropoda yang aktif di permukaan tanah. Sebaliknya strategi penjelajah ditujukan pada arthropoda yang aktif di dalam tanah. Beberapa NEP juga mampu menerapkan kedua strategi tersebut (Lortkipanidze *et al.*, 2016).

Efektivitas NEP dalam menekan berbagai hama menuntut eksplorasi sumber isolat lokal sebagai langkah strategis guna mendapatkan APH yang adaptif pada agroekosistem lokal. Kediri memiliki potensi yang cukup besar sebagai sumber isolat NEP mengingat kondisi agroekosistem yang memungkinkan keberadaan NEP dengan luas lahan pertanian sebesar 82.884 ha setara dengan 64 % total luas lahan (BPS Kabupaten Kediri, 2024). Eksplorasi NEP di wilayah Provinsi Jawa Timur dan Bali berhasil menemukan dan mengidentifikasi NEP dengan spesies *Steinernema huense* di Desa Plosokidul, Kecamatan Plosoklaten, Kabupaten Kediri (Chaerani *et al.*, 2018). Kerapatan NEP berkaitan erat dengan efektivitas di lapangan. Menurut Sari & Wagiyana (2023) peningkatan populasi NEP sejalan dengan peningkatan laju infeksi. Penelitian Indriyanti *et al.* (2014) telah melaporkan bahwa NEP memiliki pola sebaran mengelompok berdasarkan indeks Morisita dan varians populasi. Namun, informasi mengenai distribusi spasial NEP pada lahan pertanian, termasuk pola persebaran antar titik pengamatan di lapang, masih belum banyak dilaporkan. Di lain sisi guna mengetahui potensi aplikasi NEP sebagai APH di lapangan perlu dilakukan pemetaan kerapatan dan sebaran, selain berguna mengetahui potensi aplikasi juga berguna dalam eksplorasi NEP isolat lokal yang lebih adaptif. Penelitian ini bertujuan mempelajari pola persebaran kerapatan NEP pada lahan tebu berdasarkan titik pengambilan sampel.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Sampel tanah diambil dari lahan tebu (*Saccharum officinarum* L.) di Desa Klandaran, Kecamatan Plosoklaten dengan titik koordinat 7°50'23.0"S; 112°07'23.4"E (Gambar 1). *Baiting*, *white trap* dan perhitungan populasi dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei hingga Juli 2025.



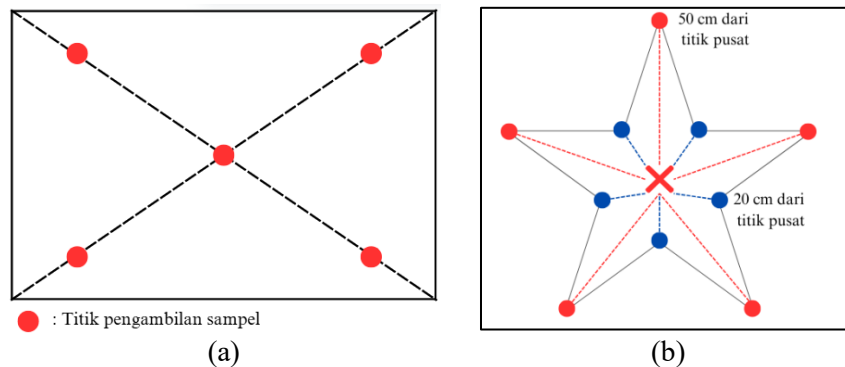
Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel tanah.

Pengumpulan Data

Tanah diambil dari lahan tebu berumur 6 (enam) bulan dengan luas sampling sebesar 600 m² dengan panjang 20 m dan lebar 30 m. Tanah diambil secara menyilang dengan 5 titik sampel (Gambar 2a), lalu setiap titik sampel dibagi menjadi 10 titik sub-sampel dengan pola bintang (Gambar 2b)(Fitriyani, 2023). Jumlah titik sampling ditentukan berdasarkan jumlah ulangan pengamatan yang digunakan dalam penelitian serta mempertimbangkan kebutuhan minimum data spasial untuk analisis. Pada setiap titik sampling dilakukan tiga pengambilan koordinat sebagai ulangan spasial guna meningkatkan keterwakilan data dan mendukung interpolasi spasial dengan koordinat representatif pada Tabel 1. Setiap titik diambil 1 kg pada kedalaman 20 cm dari permukaan tanah. Tanah dibersihkan dari serasah terikut kemudian diletakkan dalam gelas plastik sebanyak 250 gr dan diulang sebanyak 3 kali pada setiap sampel tanah. 10 ekor larva *Tenebrio molitor* diletakkan dalam kain kasa, kemudian dibenamkan dalam setiap gelas plastik berisi sampel tanah. *Baiting* diinkubasi selama 7 hari pada tempat gelap. *White trap* dilakukan pada larva *T. molitor* yang telah mati dengan meletakkan larva *T. molitor* yang telah mati ke dalam cawan petri berdiameter 10 cm beralaskan kertas saring basah. Cawan petri tersebut kemudian diletakkan ke dalam cawan petri berdiameter 15 cm, kemudian akuades steril dituangkan hingga seperempat bagian cawan petri berdiameter 10 cm. *White trap* diinkubasi selama 5 hari yang mana NEP akan bergerak menuju akuades. Pemanenan akuades hasil *white trap* menggunakan pipet tetes secara perlahan.

Tabel 1. Koordinat representatif titik sampling.

Titik	Koordinat
1	112.1233 -7.83963
2	112.1233 -7.83938
3	112.1234 -7.83954
4	112.1234 -7.83973
5	112.1235 -7.83944



Gambar 2. Titik pengambilan sampel tanah. a) Pola diagonal pengambilan sampel; b) Pola bintang pengambilan sub-sampel.

Perhitungan Populasi

Perhitungan populasi NEP dilakukan dengan menggunakan mikroskop stereo Labomed Luxeo 6Z, *hand counter* dan *counting dish* dengan metode Paster *et al.*, (2018) diulang sebanyak 3 kali setiap ulangannya sehingga secara keseluruhan dilakukan 45 kali perhitungan. Setiap perhitungan digunakan sebanyak 1 ml suspensi hasil white trap.

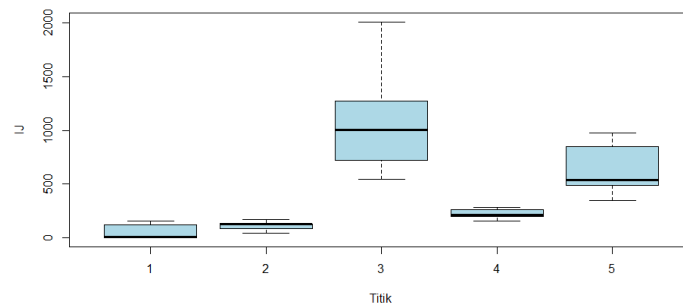
Analisis dan Visualisasi Data

Data kerapatan populasi NEP dianalisis dengan pengujian Kruskal-Wallis. Pengujian Kruskal-Wallis dipilih berdasarkan hasil uji normalitas terhadap data kerapatan yang menunjukkan bahwa data tidak berdistribusi normal berdasarkan pengujian Saphiro-Wilk. Visualisasi data dilakukan dengan aplikasi ArcMap 10.8 menggunakan fitur spatial interpolation dan analisis semivariogram. Rasio nugget dan sill dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rasio Nugget/Sill} = (\text{Nilai } \textit{nugget})/(\text{Nilai } \textit{sill}) \quad (1)$$

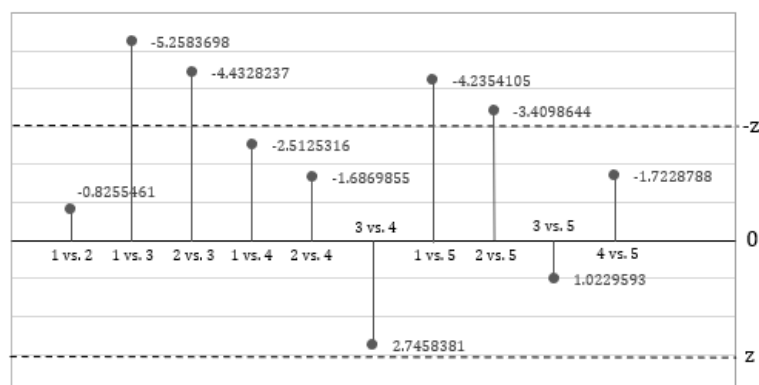
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola sebaran kerapatan NEP pada lahan tebu yang diobservasi menunjukkan bahwa persebaran bersifat terpusat. Gambar 3 menunjukkan bahwa pada titik 1, titik 2 dan titik 4 memiliki nilai median kerapatan NEP yang cukup rendah (<500 IJ/ml) dibandingkan median pada titik 3, sedangkan median titik 5 berada diantaranya. Grafik boxplot pada titik 3 memiliki rentang antar kuartil yang cukup lebar, menunjukkan variasi yang tinggi dengan variasi tertinggi berada pada angka 2000 IJ. Titik 1, titik 2 dan titik 3 memiliki variasi yang kecil atau cenderung seragam. Data pada titik 5 memiliki variasi sedang dengan nilai whisker di kedua sisi yang sama besarnya. Data yang diobservasi tidak menunjukkan outlier. Pengolahan lahan tebu yang dilakukan dengan intensitas atau durasi yang sangat minim menyebabkan NEP di lahan melipah. Hal ini sesuai dengan penelitian Hummel *et al.*, (2002) yang menunjukkan bahwa pengolahan tanah konvensional mampu mengurangi kelangsungan hidup dan aktivitas entomopatogen di dalam tanah secara keseluruhan dibandingkan dengan pengolahan tanah konservasi. Pernyataan serupa juga diungkapkan oleh Millar & Barbercheck (2002) menunjukkan bahwa NEP endemik seperti *S. carpocapsae* memiliki korelasi negatif terhadap pengolahan tanah, didasarkan pada jumlah serangga terinfeksi pada uji lebih lanjut.



Gambar 3. Box plot kerapatan infeksi juvenil (IJ) pada lima titik pengamatan

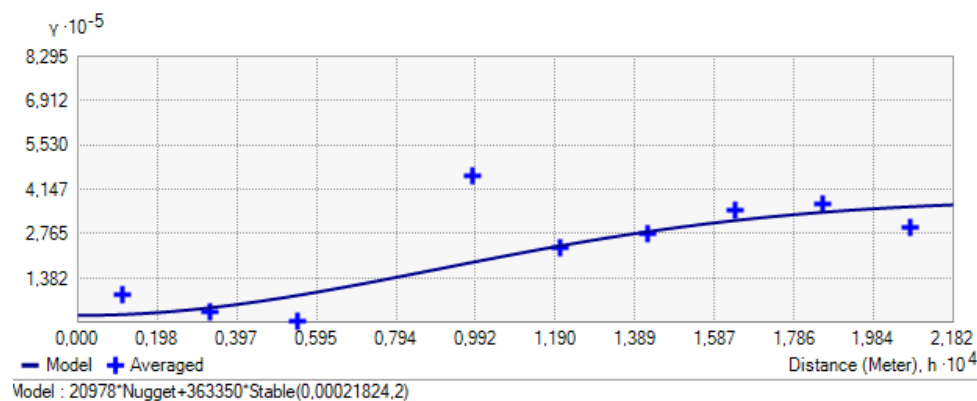
Pengujian Kruskal-Wallis menunjukkan nilai signifikansi 0,0 (<0.05) yang menunjukkan terdapat perbedaan signifikan data antar setiap petak berdasarkan uji statistik. Uji lanjut Dunn digunakan untuk membandingkan hasil antar titik sampel. Hal ini sesuai dengan pernyataan Pratama et al (2016) yang menyatakan bahwa uji Dunn merupakan uji lanjutan yang berguna dalam mengetahui perbedaan antar kategori data statistik non-parametrik hasil pengujian Kruskal-Wallis. Hasil uji yang menunjukkan nilai Z kurang dari ± 2.807 menunjukkan bahwa petak tersebut tidak berbeda signifikan dibandingkan dengan petak yang disandingkan, begitu pula sebaliknya yang mana apabila nilai Z lebih dari ± 2.807 menunjukkan bahwa petak tersebut memiliki perbedaan signifikan dengan petak yang disandingkan. Gambar 4 menunjukkan bahwa titik 1 tidak berbeda dengan titik 2 dan 4, titik 2 tidak berbeda dengan titik 1 dan 4, titik 3 tidak berbeda dengan titik 4 dan 5, dan titik 4 tidak berbeda semua titik. Titik 1 berbeda nyata dengan kerapatan pada titik 3 dan 5. Titik 2 berbeda nyata dengan titik 3 dan 5, sedangkan titik 3 berbeda nyata dengan titik 1 dan 2. Titik 5 berbeda nyata dengan titik 1 dan 2. Pola persebaran data hasil uji Dunn mengindikasikan pola persebaran terpusat dengan pusat sebaran berada pada titik 3, sedangkan pada titik 1 dan 2 kerapatan NEP mengalami penurunan signifikan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh faktor abiotik maupun biotik. Menurut Syahrok & Suryaminarsih (2023) faktor biotik seperti jenis nematoda dan fase hidup, serta faktor abiotik seperti kelembaban, suhu, pH, pupuk dan residu pestisida dalam tanah dapat mempengaruhi keberadaan NEP di lahan.



Gambar 4. Uji Dunn perbandingan nilai kerapatan NEP pada setiap titik. Perbedaan signifikan kelompok data apabila nilai z Bonferoni ± 2.807 .

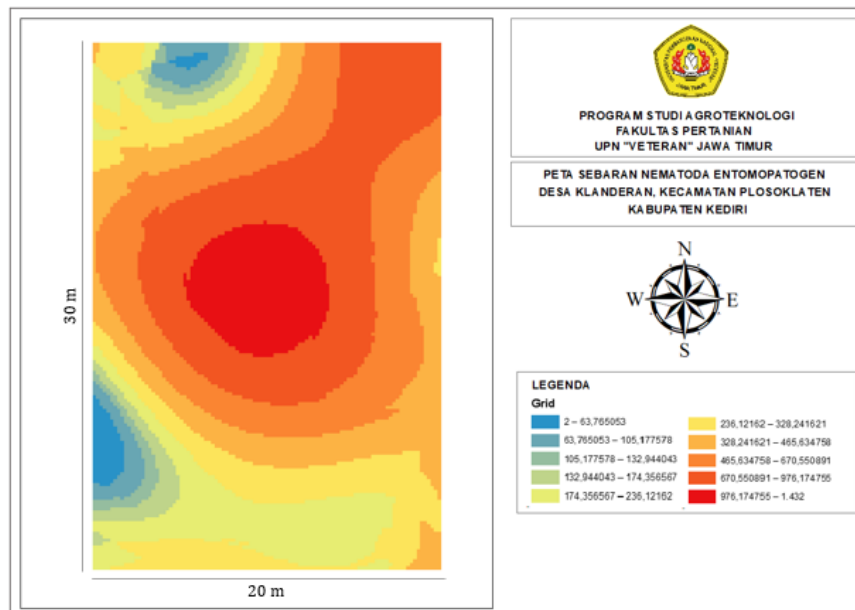
Analisis semivariogram menunjukkan rasio nugget/sill sebesar 0.0546 (5.46%) menunjukkan hubungan spasial yang nyata, dengan hubungan spasial pada jarak yang dekat memiliki kemiripan tinggi. Rasio nugget/sill dengan persentase kurang dari 25% menunjukkan terdapat ketergantungan spasial yang kuat pada titik sampel, apabila nilai rasio berada antara 25% hingga 75% maka ketergantungan spasial sedang, jika rasio lebih tinggi dari 75% maka ketergantungan spasial bersifat lemah (Zawadzki & Fabijanczyk, 2022). Bentuk kurva semivariogram yang mengalami peningkatan secara bertahap menunjukkan persebaran cenderung

teratur. Pola sebaran yang teratur mengindikasikan kesesuaian titik sampel sebagai habitat terhadap NEP. Range dengan nilai 0.00021824 menunjukkan bahwa autokorelasi spasial hanya mampu mencapai jarak 2.18 m, setelah melewati jarak 2.18 m korelasi kerapatan NEP pada setiap titik sudah tidak memiliki hubungan yang kuat. Berdasarkan grafik semivariogram dapat diketahui bahwa persebaran NEP di lahan cukup merata.



Gambar 5. Hasil semivariogram kerapatan NEP

Visualisasi peta interpolasi kriging menunjukkan persebaran NEP di lahan observasi terpusat pada titik 3 ditandai dengan warna merah (Gambar 5). Titik 3 merupakan titik yang berada pada bagian tengah lahan, yang mana permukaan tanahnya tidak terpapar sinar matahari secara intens karena tertutup oleh daun tebu yang saling tumpang tindih. Titik 1 dan 2 dengan kerapatan NEP terendah merupakan tepian lahan yang berbatasan langsung dengan lahan jagung berumur sekitar 21 hari sehingga permukaan tanahnya terpapar sinar matahari secara intens. Titik 4 dan 5 berbatas langsung dengan lahan tebu berumur 4 bulan, sehingga permukaan tanah tidak terpapar sinar matahari secara intens seperti titik 1 dan 2, namun tidak seteduh titik 3. Paparan sinar matahari mampu mempengaruhi suhu dan kelembaban tanah menjadi kurang optimal bagi NEP. Kondisi lingkungan yang sesuai bagi NEP adalah tanah dengan tekstur lempung dengan pH 5.2-7.0 (agak masam hingga netral) dan suhu tanah berkisar antara 25 °C - 34 °C (Yimthin *et al.*, 2021). Menurut Matuska-Lyzwa *et al.*, (2024) strain NEP yang umum digunakan dalam pengendalian serangga aktif pada rentang suhu 10-30 °C, suhu optimal untuk *S. carpocapsae* berada pada rentang 20-25 °C. Menurut Ariyanto *et al* (2021) suhu udara, suhu tanah dan intensitas cahaya memiliki korelasi positif, sedangkan kelembaban memiliki korelasi negatif. Semakin tinggi intensitas cahaya maka akan terjadi peningkatan terhadap suhu tanah dan suhu udara serta penurunan kelembaban. Keberadaan tegakan tebu yang cukup rapat menjadi naungan alami sehingga suhu tanah dan kelembaban berada titik optimal bagi kehidupan NEP. Hal ini didukung oleh penelitian Cahyaningpratiwi *et al* (2021), yang menunjukkan bahwa suhu tanah selain dipengaruhi letak topografi dan kedalaman tanah juga turut dipengaruhi oleh kerapatan tegakan, kerapatan tegakan juga mampu mempertahankan kelembaban berada pada puncak tertinggi karena terbatasnya pergerakan uap air hasil evapotranspirasi.



Gambar 5. Peta interpolasi persebaran kerapatan NEP di lahan observasi

Kerapatan NEP yang tinggi pada titik 3 juga dapat disebabkan kelimpahan inang serangga. NEP mencari inang melalui dua mekanisme yaitu penyergapan (*ambush*) dan penjelajahan (*cruiser*). Penyergapan dilakukan dengan menunggu inang mendekat, sedangkan penjelajahan dilakukan dengan mencari inang secara aktif, beberapa NEP juga mampu menerapkan kedua mekanisme tersebut. Korelasi antara kerapatan NEP dan kelimpahan serangga inang di lahan jarang sekali diteliti karena perkembangan NEP yang cepat. Namun berdasarkan penelitian yang dilakukan Indriyanti *et al* (2014) diduga pemberian bahan organik memberikan pengaruh secara tidak langsung pada peningkatan populasi serangga herbivora yang berimplikasi pada peningkatan populasi NEP sebagai musuh alami serangga herbivora tersebut. Berdasarkan peta interpolasi Kriging pada Gambar 5 pola persebaran kerapatan NEP membentuk pola agregasi terpusat. Hal ini didukung oleh penelitian Shapiro-Ilan *et al* (2014) yang menemukan bahwa penyebaran nematoda menghasilkan pola agregat daripada distribusi acak atau seragam. Pemetaan mengenai persebaran kerapatan NEP menjadi informasi praktik mengenai titik prioritas eksplorasi dan aplikasi.

KESIMPULAN

Hasil analisis boxplot, uji Kruskal-Wallis, uji lanjut Dunn, semivariogram, dan interpolasi kriging, dapat disimpulkan bahwa pola sebaran kerapatan nematoda entomopatogen (NEP) pada lahan tebu bersifat terpusat (agregatif) dengan pusat sebaran berada pada titik 3. Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan perbedaan signifikan antar titik pengamatan, sedangkan uji Dunn mengindikasikan bahwa titik 3 memiliki perbedaan nyata terhadap sebagian besar titik lain. Nilai rasio nugget/sill sebesar 5,46% menunjukkan adanya autokorelasi spasial yang kuat, dengan jarak pengaruh spasial (*range*) sejauh 2.18 meter. Hasil semivariogram dan interpolasi kriging mendukung bahwa persebaran NEP mengelompok pada area tengah lahan, yang memiliki kondisi mikroklimat lebih sesuai, seperti suhu dan kelembaban tanah yang stabil akibat naungan tajuk tebu. Faktor lingkungan seperti paparan sinar matahari, suhu, dan kelembaban berperan penting dalam menentukan kelimpahan NEP di lapangan. Dengan demikian, pemetaan spasial kerapatan NEP dapat menjadi dasar dalam penentuan lokasi potensial eksplorasi dan aplikasi agen hayati NEP di lahan pertanian tebu. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan melakukan

pengujian agregasi dan pengukuran parameter abiotik secara periodik untuk mengetahui korelasi dan regresi antara kerapatan NEP dengan faktor abiotik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, D. P., Qudsi, Z. A., & Dewi, W. S. (2021, April). The dynamic effect of air temperature and air humidity toward soil temperature in various lands cover at KHDTK Gunung Bromo, Karanganyar-Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 724, No. 1, p. 012003). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/724/1/012003.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kediri. (14 Mei 2024). Penggunaan Lahan, 2023. Diakses pada Minggu, 20 Juli 2025 pukul 21.44 WIB, dari <https://kedirikab.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjYjMg==/penggunaan-lahan.html>
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>
- Cahyaningprastiwi, S. R., Karyati, K., & Sarminah, S. (2021). Suhu dan kelembapan tanah pada posisi topografi dan kedalaman tanah berbeda di taman sejati kota samarinda. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, 20(2), 189-198. <https://doi.org/10.31293/agrifor.v20i2.5231>
- Cahyono, A., Purnawati, A., Mudjoko, T., & Mardiyani, P. (2020). Uji patogenesis beberapa isolat bakteri simbiosis nematoda entomopatogen terhadap larva krop kubis *Crocicodolomia pavonana*. *PLUMULA: Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 7(2), 55-63. <http://dx.doi.org/10.33005/plumula.v7i2.22>
- Chaerani, Prabowo, H., & Indrayani, I. (2018). Isolation and molecular identification of entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis*) from East Java and Bali. *Jurnal AgroBiogen*, 14(2), 85-96. <http://dx.doi.org/10.21082/jbio.v14n2.2018.p85-95>
- David, W., Alkausar, S., & Widyarti, B. (2023). *Statistik Pertanian Organik Indonesia*. Jakarta, Universitas Bakrie Press.
- Erdiansyah, I., & Fauziah, A. N. (2024). Eksplorasi, identifikasi, dan karakterisasi nematoda entomopatogen pada lahan jagung dan padi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(2), 173-178. <https://doi.org/10.18343/jipi.29.2.173>
- Felicitas, E. F. A., Caoili, B. L., & Latina, R. A. (2021). Antagonistic effect of *Steinernema abbasi* and *Heterorhabditis indica* Philippine isolates on root penetration and development of *Meloidogyne incognita* in tomato. *Biocontrol Science and Technology*, 31(8), 865-876. <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1898541>
- Fitriyani, N. N. (2023). *Keragaman dan Kelimpahan Nematoda pada Tanaman Jambu Biji Kristal (Psidium guajava L.) di Pasuruan Jawa Timur dan Lampung*. [Skripsi. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur].
- Hasibuan, S. (2020). Respon berbagai jenis ekstrak bagian tanaman (feromon) dalam mengendalikan hama tanaman padi (*Oryza sativa* L). sebagai teknik pengendalian hama terpadu. *Jurnal Agrium*, 17(2), 127-138. <https://doi.org/10.29103/agrium.v17i2.2857>
- Hipti, M., Widajati, W., Wiyatiningsih, S., & Kusuma, R. M. (2021). Pathogenicity of entomopathogenic nematodes (NEP) results of in vitro propagation using egg yolk media against mustard caterpillar *Plutella xylostella*. *Sains Dan Teknologi Pertanian Modern*, 55-62. <https://doi.org/10.11594/nstp.2021.1509>
- Hummel, R. L., Walgenbach, J. F., Barbercheck, M. E., Kennedy, G. G., Hoyt, G. D., & Arellano, C. (2002). Effects of production practices on soil-borne entomopathogens in western North Carolina vegetable systems. *Environmental Entomology*, 31(1), 84-91. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-31.1.84>
- Indriyanti, D. R., Pribasari, A. D. H., Puspitarini, D., & Widiyaningrum, P. (2014). Kelimpahan dan pola penyebaran Nematoda Entomopatogen sebagai agensia pengendali serangga hama

- pada berbagai lahan di Semarang. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*, 3(1), 55-61. <https://doi.org/10.33230/JL SO.3.1.2014.106>
- Indriyanti, D. R., Pribasari, A. D. H., Puspitarini, D., & Widiyaningrum, P. (2014). Kelimpahan dan pola penyebaran Nematoda Entomopatogen sebagai agensia pengendali serangga hama pada berbagai lahan di Semarang. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*, 3(1). <https://doi.org/10.33230/JLSO.3.1.2014.106>
- John, D. A., & Babu, G. R. (2021). Lessons from the aftermaths of green revolution on food system and health. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.644559>
- Kenney, E., & Eleftherianos, I. (2016). Entomopathogenic and plant pathogenic nematodes as opposing forces in agriculture. *International Journal for Parasitology*, 46(1), 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2015.09.005>
- Khairunnisa, S., & Zahara, F. (2014). Uji efektifitas nematoda entomopatogen sebagai pengendali penggerek pucuk kelapa sawit (*Oryctes rhinoceros* L.)(Coleoptera: Scarabidae) di laboratorium. *Jurnal Agroteknologi Universitas Sumatera Utara*, 2(2), 607–620. <https://doi.org/10.32734/jaet.v2i2.7067>
- Kusuma, R. M., Windriyanti, W., & Simanjuntak, R. G. (2025). *Pengantar entomologi pertanian*. Padang: Karya Buku dan Jurnal Indonesia. ISBN: 978-634-04-3278-7.
- Lacey, L. A., & Georgis, R. (2012). Entomopathogenic nematodes for control of insect pests above and below ground with comments on commercial production. *Journal of Nematology*, 44(2), 218–225.
- Lortkipanidze, M. A., Gorgadze, O. A., Kajaia, G. Sh., Gratiashvili, N. G., & Kuchava, M. A. (2016). Foraging behavior and virulence of some entomopathogenic nematodes. *Annals of Agrarian Science*, 14(2), 99–103. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.05.009>
- Matuska-Łyżwa, J., Duda, S., Nowak, D., & Kaca, W. (2024). Impact of abiotic and biotic environmental conditions on the development and infectivity of entomopathogenic nematodes in agricultural soils. *Insects*, 15(6), 421. <https://doi.org/10.3390/insects15060421>
- Maulida, C. H., Rokhim, S., & Zahro'in, E. (2021). Patogenitas nematoda entomopatogen Heterorhabditis spp. terhadap larva Spodoptera litura. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sain Dan Teknologi*, 6(2), 96–101. <https://doi.org/10.36722/sst.v6vi2.809>
- Meray, E. R. M., Rante, C. S., & Sualang, D. S. (2024). Diseminasi resistensi hama akibat penggunaan insektisida pada Kelompok Tani Sehati di Kelurahan Kakaskasen II Kota Tomohon. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(3), 133–138.
- Millar, L. C., & Barbercheck, M. E. (2002). Effects of tillage practices on entomopathogenic nematodes in a corn agroecosystem. *Biological control*, 25(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(02\)00042-7](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(02)00042-7)
- Paster, A., Hendarti, I., & Ramadhan, T. H. (2018). Uji patogenisitas nematoda patogen serangga (*Steinernema carpocapsae*) dari tanah gambut terhadap rayap tanah (*Coptotermes curvignathus*). *Perkebunan dan Lahan Tropika*, 8(2), 45-53. <https://doi.org/10.26418/plt.v8i2.29797>
- Pratama, I. D., Sumarwan, U., & Wijayanto, H. (2016). Advertising avoidance pada iklan di media televisi. *Jurnal Aplikasi Bisnis dan Manajemen (JABM)*, 2(1), 1-11. <https://doi.org/10.17358/jabm.2.1.1>
- Rahayu, M., Susanna, S., & Hasnah, H. (2021). Potensi cendawan entomopatogen Beauveria bassiana (Balsamo) Vuillemin (isolat lokal) dalam mengendalikan hama ordo Coleoptera. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(2), 155–165. <http://dx.doi.org/10.17969/jimfp.v6i2.17183>
- Rodou, A., Ankrah, D. O., & Stathopoulos, C. (2010). Toxins and Secretion Systems of *Photorhabdus luminescens*. *Toxins*, 2(6), 1250-1264.

- Sari, I. Y. H., & Wagiyana, W. (2023). Efektivitas Isolat Nematoda Entomopatogen *Steinernema* sp. Produksi PPAH Kabupaten Kediri terhadap Mortalitas Larva *Spodoptera frugiperda* JE Smith. *Berkala Ilmiah Pertanian*, 6(3), 129-133. <https://doi.org/10.19184/bip.v6i3.35735>
- Satria, A. B., Widiyaningrum, P., & Ngabekti, S. (2018). Viabilitas dua isolat lokal nematoda entomopatogen pada berbagai variasi pH media dan uji mortalitasnya terhadap rayap tanah. *Life Science*, 7(1), 9–15.
- Shapiro-Ilan, D. I., Lewis, E. E., & Schliekelman, P. (2014). Aggregative group behavior in insect parasitic nematode dispersal. *International journal for parasitology*, 44(1), 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2013.10.002>
- Shapiro-Ilan, D. I., Morales-Ramos, J. A., & Rojas, M. G. (2016). In vivo production of entomopathogenic nematodes. In *Methods in Molecular Biology* (Vol. 1477, pp. 137–158). Humana Press Inc. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6367-6_11
- Sopialena. (2018). *Pengendalian Hayati dengan Memberdayakan Potensi Mikroba* (A. M. Halim, Ed.). Mulawarman University Press.
- Stock, S. P., & Goodrich-Blair, H. (2012). Nematode parasites, pathogens and associates of insects and invertebrates of economic importance. In *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology* (pp. 373–426). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386899-2.00012-9>
- Syahrok, S. F., & Suryaminarsih, P. (2023). Faktor Efektivitas Penggunaan Nematoda Entomopatogen. *Exact Papers in Compilation (EPiC)*, 5(1), 29–33. <https://doi.org/10.32764/epic.v5i1.895>
- Torrini, G., Mazza, G., Benvenuti, C., Simoncini, S., Landi, S., Frosinini, R., Rocchini, A., & Roversi, P. F. (2020). Entomopathogenic nematodes as potential biocontrol agents against *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Biocontrol Science and Technology*, 30(9), 909–919. <https://doi.org/10.3389/finsc.2023.1195254>
- Yimthin, T., Fukruk, C., Muangpat, P., Dumida, A., Wattanachaiyingcharoen, W., Vitta, A., & Thanwisai, A. (2021). A study on *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* isolates from Northeastern Thailand: Identification, antibacterial activity, and association with entomopathogenic nematode hosts. *PloS one*, 16(8), e0255943. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255943>
- Zawadzki, J., & Fabijańczyk, P. (2022). On the influence of the nugget effect on the efficiency of magnetometric soil surface screening. *Ecological Chemistry and Engineering*, 29(4), 525-535. <https://doi.org/10.2478/eces-2022-0038>