Pengaruh Gelombang Ultrasonik Jangkrik *(Acheta domesticus)* terhadap Pola Perilaku Makan Pasif dan Gerak Pasif Tikus Sawah (*Rattus argentiventer*)

The Influence of Cricket (Acheta domesticus) Ultrasonic Waves Toward The Passive Feeding and Passive Motion of Paddy Field Rat (Rattus argentiventer)

Sama' Iradat Tito[1*], Bagyo Yanuwiadi[1], Chomsin Sulistya[2]

[1]Jurusan Biologi, [2]Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang

Abstrak

Tikus sawah merupakan hama utama dan penyebab kerugian terbesar pada tanaman padi di Indonesia. Cara pengendalian hama yang ada sampai saat ini belum sepenuhnya dapat mengatasi masalah hama tikus. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk mendapatkan teknologi pengendalian yang efektif dan mudah dilaksanakan dengan menggunakan gelombang ultrasonik jangkrik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh gelombang ultrasonik jangkrik terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus. Gelombang ultrasonik jangkrik dipaparkan langsung terhadap tikus sawah dan diamati melalui pola perilaku makan pasif dan gerak pasif yang ditunjukkan oleh tikus sawah. Data hasil pengamatan pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus dianalisis dengan analisis variansi rancangan faktorial. Faktor yang diamati meliputi frekuensi, jarak sumber, dan lama pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik serta kombinasinya. Frekuensi gelombang ultrasonik jangkrik pada jarak 100 cm dan lama pemaparan 45-60 menit dapat menimbulkan perubahan pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus. Perubahan tersebut terjadi akibat efek termal, efek kavitasi dan efek mekanik yang terjadi pada struktur jaringan sel tikus.

Kata kunci : gelombang ultrasonik, jangkrik, tikus sawah

Abstract

Over the last decade, paddy field rat cases in Indonesia still become problem cultivation rice plant. The control method be present now is not yet get exceed rat wet rice pest. Because that, need straight away research for get technology control that effective and easy to applicate. The control rat wet rice pest with cricket ultrasonic waves we hope that can become alternative that problem solving. The aim from this research is for knowing the influence of cricket ultrasonic waves toward the passive feeding and passive motion rat wet rice field. Cricket ultrasonic waves direct flat to rat rice pest. The data on the observation of response and change of behavior patterns that covered the patterns of passive movement and of passive feeding of rat wet rice field brought about by ultrasonic wave disturbances were analyzed and employed to determine which parameter were the most dominant among variations exposure distance and exposure time of the ultrasonic waves. The result of research gave significant differences (P<0.05) of the effect of ultrasonic wave frequency, source distance and exposure time. At cricket frequency, it already gave effective impact toward behavior patterns that covered the patterns of passive feeding and passive movement of the migratory locusts. At this cricket frequency, with exposure time of 45 to 60 minute at 100 cm distance it has already effective impact toward the behavior patterns of rat wet rice field compared to the change of source distance longer than 100 cm at other time too towards passive feeding and passive motion pattern of rat wet rice field.

Key Words: *Ultrasonic waves, cricket, rat wet rice field*

∗ Alamat Korespondensi Penulis:
Sama' Iradat Tito
E-mail : samairadat@gmail.com
Alamat : Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang yang memiliki prioritas pertumbuhan ekonomi penduduk diarahkan pada sektor pertanian (Anwar, 1994). Sektor pertanian di beberapa daerah di Indonesia sering mengalami kegagalan karena perubahan keadaan alam meliputi iklim, angin, dan perubahan temperatur serta beberapa faktor penyebab lain yaitu virus, jamur, gulma (tumbuhan pengganggu), hama serangga dan binatang pengerat dalam jumlah yang berlebih pada lahan pertanian (Adianto dan Soelaksono, 1987).

Salah satu contoh kegagalan sektor pertanian di Indonesia adalah akibat serangan hama tikus sawah (*Rattus argentiventer*). Beberapa daerah yang mendapat serangan hama tikus di Indonesia, misalnya di daerah Jawa Tengah khususnya di Kabupaten Pekalongan, Pemalang, Sragen, Klaten, dan Magelang. Serangan hama tikus pada tanaman padi dengan mencapai luas 1.576 ha pada minggu pertama Desember tahun 2007 (Kompas, 2007).

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2008), Tikus sawah *(Rattus argentiventer)* merusak tanaman padi pada semua tingkat pertumbuhan tanaman padi dan di gudang penyimpanan padi. Kerusakan parah terjadi jika tikus menyerang padi pada fase generatif, karena pada fase tersebut tanaman sudah tidak memiliki kemampuan untuk membentuk anakan baru. Tikus merusak tanaman padi mulai dari tengah petak, kemudian meluas ke arah tepi. Tikus menyerang padi pada malam hari. Pada siang hari, tikus bersembunyi di dalam lubang pada tanggul-tanggul irigasi, jalan sawah, pematang, dan daerah perkampungan dekat sawah. Pada periode bera (masa sebelum olah tanah), sebagian besar tikus bermigrasi ke daerah perkampungan dekat sawah dan kembali lagi ke sawah setelah tanaman padi menjelang fase generatif.

Peningkatan populasi tikus sawah secara besar-besaran di daerah Kabupaten Pekalongan, Pemalang, Sragen, Klaten, dan Magelang dapat terjadi karena, pada daerah tersebut yang terdapat banyak lahan terbuka yang umumnya ditumbuhi alang-alang dan rumput lainnya. Kondisi lahan tersebut merupakan daerah yang cukup baik untuk perkembangan tikus (Hoeve, 1996). Selain itu daerah yang terbuka yang sangat luas dan jauh dari pemukiman menyebabkan kegiatan pengamatan populasi hama tikus sulit dilakukan sehingga populasi tikus sulit dideteksi. Umumnya populasi tikus diketahui jika sudah dalam bentuk gregaria yang mempunyai perilaku bermigrasi ke daerah lain dan populasi yang besar sehingga sulit untuk dikendalikan dengan penyemprotan rodentisida. Pengendalian hama tikus sawah melalui penyemprotan rodentisisda juga memiliki beberapa dampak negatif antara lain pencemaran lingkungan dan mahal. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan suatu alternatif pengendalian hama tikus sawah selain dengan penyemprotan rodentisida. Salah satu cara yang dilakukan petani adalah penangkapan dan perburuan tikus sawah secara masal dengan menggunakan bunyi-bunyian. Bunyi-bunyian yang dipergunakan antara lain bunyi kentongan, sirene, dan knalpot sepeda motor (Anonimous, 2000). Penangkapan tikus dengan menggunakan bunyi-bunyian berbasis pada gelombang bunyi yang diterima oleh pusat pendengaran tikus sebagai tanda bahaya. Tanda bahaya tersebut menyebabkan tikus memberikan respon berupa perubahan lintasan migrasi untuk mempertahankan populasi.

Pengendalian hama tikus sawah dengan menggunakan kentongan, sirine dan knalpot sepeda motor merupakan cara yang membutuhkan cukup banyak waktu dan tenaga. Oleh sebab itu, diperlukan suatu pengembangan teknik pengendalian hama tikus sawah berbasis pada pemanfaatan bunyi-bunyian sebagai tanda bahaya bagi tikus yang lebih efektif dan efisien, salah satunya adalah pengendalian hama tikus sawah dengan menggunakan jangkrik (*Acheta domesticus*).

Jangkrik merupakan serangga yang mempergunakan suara (gelombang bunyi) sebagai sarana komunikasi diantara sesama jangkrik. Gelombang suara jangkrik memiliki rentang di atas frekuensi gelombang bunyi pendengaran manusia, gelombang ini termasuk gelombang ultrasonik. Sridadi dan Rachmanto (1999) mengungkapkan masyarakat beranggapan bahwa jangkrik dapat digunakan untuk menakut-nakuti tikus tetapi, hal ini belum dibuktikan secara ilmiah. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan suatu penelitian untuk membuktikan kebenaran dari asumsi tersebut.

Pengendalian hama tikus adalah menghilangkan atau mengurangi aktivitas daya rusak hama terhadap tanaman (Wudianto, 2002). Pada penelitian ini aktivitas tersebut dibatasi pada pola perilaku pasif yaitu pengamatan kepasifan yang tidak bergerak (diam di tempat) dan diam berkelompok dengan anggota tubuh tidak bergerak kecuali kumisnya yang meliputi

pola perilaku makan pasif dan pola perilaku gerak pasif.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah eksperimental laboratoris dengan perlakuan berupa rangsangan gelombang ultrasonik terhadap tikus. Gelombang ultrasonik frekuensi rendah adalah gelombang ultrasonik yang masih dapat mengeluarkan bunyi (1,5 kHz – 200 kHz) yang dikeluarkan oleh jangkrik dan dapat didengar oleh pusat pendengaran tikus.

Penelitian ini disusun dengan menggunakan RAL (rancangan acak lengkap) dengan uji faktorial, terdiri dari tiga faktor yaitu:

(A) faktor pertama = frekuensi gelombang ultrasonik (F) dengan 2 taraf; F0 dan F1

(B) faktor kedua = (R) dengan 5 taraf; R0, R1, R2, R3, dan R4

(C) faktor ketiga = lama pemaparan (T) dengan 5 taraf ; T0, T1, T2, T3, dan T4.

Jadi faktor A dengan taraf sebanyak A = 2; faktor B dengan taraf sebanyak B = 5 dan faktor C dengan taraf sebanyak C = 5. Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL), dalam tiap kombinasi perlakuan terdapat n buah unit eksperimen atau pengamatan, maka model linear matematik yang tepat untuk rancangan faktorian a x b x c menurut Sudjana (1985) adalah :

$$Yijk = \mu+Ai+Bj+ABij+Ck+ACik+BCjk+ABCijk+\varepsilon(ijk)$$

keterangan :

Yijk = variabel respon karena pengaruh bersama taraf ke i faktor A, taraf ke j faktor B, dan taraf ke k faktor C yang terdapat pada pengamatan/unit perlakuan ke n

μ = efek rata-rata yang sebenarnya (nilai konstan)

Ai = efek sebenarnya dari taraf ke i faktor A

Bj = efek sebenarnya dari taraf ke j faktor B

Abij = efek sebenarnya dari taraf ke k faktor C

ACik = efek sebenarnya dari interaksi taraf ke i faktor A dengan taraf ke k faktor C

BCjk = efek sebenarnya dari interaksi taraf ke j faktor B dengan taraf ke k faktor C

ABCijk = efek sebenarnya terhadap variabel respon yang disebabkan oleh interaksi antara taraf ke i faktor A, taraf ke j faktor B dan taraf ke k faktor C

ε (ijk) = efek sebenarnya unit eksperimen ke i disebabkan oleh kombinasi perlakuan (ijk).

F0, Ro, To = kontrol

I = 1, 2 (a) ; (taraf frekuensi)

j = 1, 2, 3, 4 (b) ; (taraf jarak pemaparan)

k = 1, 2, 3, 4 (c) ; (lama pemaparan)

l = 1, 2, 3, (n=r)

Desain Eksperimental Penelitian

Penelitian terdiri dari 20 variasi perlakuan pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus sawah (Tabel 1). Setiap perlakuan dipergunakan 4 ekor tikus (setiap kandang berisi 2 tikus) dengan reflikasi atau ulangan sebanyak tiga kali. Pada setiap perlakuan diamati pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus saat pemaparan gelombang ultrasonik dengan visual kontol (kandang 1) dan pemakaian *web camera* (kandang 2). Pola perilaku pasif pada penelitian ini adalah pengamatan kepasifan yang tidak bergerak atau diam di tempat dan diam berkelompok dengan anggota tubuh tidak bergerak kecuali kumisnya. Pola perilaku makan pasif adalah ketidaktertarikan tikus terhadap makanan (malas makan) yang dapat diketahui melalui perhitungan biomassa makanan tikus sedangkan pola perilaku gerak pasif adalah ketidaktertarikan tikus untuk bergerak (malas gerak) yang dapat diketahui melalui pengamatan visual kontrol dan *web camera*.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri atas variabel bebas, variabel terikat dan variabel kendali yang secara rinci dijabarkan sebagai berikut :

Variabel bebas :

1. Frekuensi ; 0 kHz dan frekuensi jangkrik.
2. Jarak; 0 cm, 100 cm, 200 cm, 300 cm, dan 400 cm.
3. Lama pemaparan; 0 menit, 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit.
4. Kombinasi frekuensi, jarak dan lama pemaparan gelombang ultrasonik.

Variabel terikat :

Pola perilaku, pola makan, jumlah yang pasif, pola gerak, jumlah yang pasif

Variabel terkendali :

Suhu ruang, kelembaban ruang, waktu eksperimental, dan nutrisi (makanan tikus dan jangkrik)

Metode Pengumpulan Data Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua bagian, yaitu metode observasional dan metode eksperimental. Penelitian observasional bertujuan untuk mendeskripsikan pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku tikus. Tahap observasional adalah:

1. Pengambilan sampel tikus untuk empat tikus setiap perlakuan.
2. Deskripsi pengaruh gelombang ultrasonik pada jangkrik terhadap pola perilaku tikus dengan pengamatan pada penelitian ini adalah kepasifan yang tidak bergerak atau diam di tempat dan diam berkelompok dengan anggota tubuh tidak bergerak kecuali kumisnya.

Penelitian eksperimental bertujuan untuk memperoleh data pengamatan pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus. Tahap eksperimental adalah sebagai berikut :

1. Pemakaian jangkrik dengan frekuensi gelombang ultrasoniknya di laboratorium terhadap tikus.
2. Analisis gelombang ultrasonik jangkrik yang diberikan terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus dengan kombinasi frekuensi, jarak sumber, dan lama pemaparan.

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu persiapan tikus dan jangkrik. Tikus ditangkap dengan kotak perangkap yang telah disiapkan sore hari di bagian tengah sawah. Hal ini dikarenakan tikus adalah hewan nokturnal dan daerah tersebut adalah tempat lalu lalang tikus. Setiap proses penangkapan dilakukan di tempat yang berbeda dikarenakan tikus mempunyai sifat *Bait Shyness* (kecurigaan). Tikus yang ditangkap dari sawah selanjutnya diseleksi menurut jenis kelamin dan ditimbang berat badan tikus. Tikus jantan memiliki hemipenis sedangkan tikus betina memiliki *glandula mamae*. Tikus kemudian dipindahkan ke kandang pemeliharaan dan diaklimatisasi dengan kondisi laboratorium selama 24 jam. Kandang tikus dan jangkrik dipisah sebelum perlakuan agar suara jangkrik tidak terdengan oleh tikus. Kemudian setelah dilakukan aklimatisasi, tikus dipuasakan selama 12 jam sebelum perlakuan.

Tahap pertama persiapan jangkrik adalah dilakukan seleksi jangkrik jantan dan jangkrik betina. Jangkrik betina dewasa dengan ciri-ciri antara lain jangkrik betina (keluar sayap terbang dengan lengkap, telah berusia sekitar 60 hari, gerakan lincah) sedangkan jangkrik jantan (sayap lengkap, telah berumur 60 hari, "ngerik" (suara keras, dan gerakan lincah). Selanjutnya jangkrik jantan dan jangkrik betina dimasukkan pada kandang yang berbeda dan diaklimatisasi selama satu minggu. Sebelum dipergunakan untuk perlakuan, dilakukan pengukuran frekuensi gelombang bunyi jangkrik dengan menggunakan *osciloskop* yang diletakkan di depan kandang jangkrik.

Tabel 1. Perlakuan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus

Frekuensi (Hz) (A)	Jarak Sumber (cm) (B)	Lama pemaparan (menit) (C)			
		T1	T2	T3	T4
F0	R0	F0R0T0 (kontrol)	F0R0T0 (kontrol)	F0R0T0 (kontrol)	F0R0T0 (kontrol)
F1	R1	F1R1T1	F1R1T2	F1R1T3	F1R1T4
	R2	F1R2T1	F1R2T2	F1R2T3	F1R2T4
	R3	F1R3T1	F1R3T2	F1R3T3	F1R3T4
	R4	F1R4T1	F1R4T2	F1R4T3	F1R4T4

Keterangan :

F	= frekuensi gelombang ultrasonik	R4	= 400 cm
Fo	= 0 (kontrol), F1 = frekuensi jangkrik	T	= lama pemaparan gelombang ultrasonik
R	= jarak sumber gelombang ultrasonik.	To	= 0 (kontrol)
Ro	= 0 (kontrol)	T1	= 15 menit
R1	= 100 cm	T2	= 30 menit
R2	= 200 cm	T3	= 45 menit
R3	= 300 cm	T4	= 60 menit

Tahap selanjutnya yang dilakukan pada perlakuan adalah dipersiapkan makanan tikus sebanyak 10 gram. Masing-masing kandang tikus berisi 2 sampel tikus yang terdiri dari 1 tikus jantan dan 1 tikus betina. Kemudian, di bagian belakang kotak modifikasi sampel tikus ditempatkan faktor penghambat frekuensi yang dipaparkan berupa tanaman (alang-alang) yang berguna juga untuk membentuk suasana seperti kehidupan habitatnya. Data pendukung perilaku makan pasif dilengkapi juga dengan pengukuran biomassa makanan yang dikonsumsi tikus selanjutnya kandang jangkrik dan tikus diletakkan pada jarak tertentu dan dengan lama pemaparan tertentu yang telah ditentukan (sesuai perlakuan). Kemudian diambil makanan yang diberikan dan diganti dengan makanan yang baru pada menit ke-15, ke-30, ke-45 dan ke-60 dan ditimbang berat makanan setelah pemaparan (pada menit ke-15, ke-30, ke-45 dan ke-60) sebagai data biomassa makanan tikus, lalu diamati pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus (visual kontrol dan *web camera*).

Analisis Data Penelitian

Data hasil pengamatan pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus dianalisis dengan menggunakan analisis variansi dengan rancangan faktorial dengan tiga faktor yang meliputi frekuensi, jarak sumber, dan lama pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik serta kombinasinya. Rancangan faktorial tersebut digunakan untuk melihat pengaruh perlakuan terhadap respon dan juga untuk mengetahui perlakuan mana saja yang terbaik dari hasil pengamatan terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus. Jika ada perbedaan yang nyata antara perlakuan, maka dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) pada taraf signifikansi 5 % dan uji Tukey.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Pemaparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Pola Perilaku Makan Pasif Tikus sawah

Hasil analisis variansi untuk melihat pengaruh jarak sumber gelombang ultrasonik (R) terhadap pola makan pasif tikus sawah (Lampiran 3) menunjukkan bahwa interaksi jarak sumber gelombang ultrasonik yang berbeda memberi pengaruh yang signifikan ($P < 0.05$) terhadap pola makan pasif tikus sawah.

Rata-rata perlakuan jarak sumber gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah hasil uji Tukey disajikan dalam Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1., diketahui bahwa jarak sumber (R) gelombang ultrasonik yang tertinggi diperoleh pada perlakuan R_1 (jarak sumber 100 cm) sebesar (91,65 %) untuk pola makan pasif tikus sawah. Rata-rata persentase pola perilaku makan pasif tikus sawah pada jarak 100 cm (R_1) memiliki perbedaan yang bermakna dengan perlakuan R_2 (jarak sumber 200 cm), R_3 (jarak sumber 300 cm), dan R_4 (jarak sumber 400 cm). Adapun data pendukung dari pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah adalah pengukuran biomassa. Hasil pengukuran rata-rata biomassa dihubungkan dengan pengaruh jarak sumber gelombang ultrasonik diketahui bahwa interaksi jarak sumber gelombang ultrasonik memberikan pengaruh terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah.

Tabel 2. Pengaruh Jarak Sumber Pemaparan Gelombang Ultrasonik terhadap Rata-rata Persentase Pola Perilaku Makan Pasif Tikus Sawah

R=Jarak sumber (cm)	Rata-rata persentase pola perilaku makan pasif tikus sawah (%)
R_1=100	91,65 a
R_2=200	87,50 b
R_3=300	87,50 b
R_4=400	85,40 c

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan taraf signifikansi 5 %. Urutan a-d dimulai dengan angka yang tertinggi.

Terganggunya aktivitas makan (pola makan pasif) tikus sawah akibat pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik sejauh 100 cm (R_1) disebabkan paparan gelombang tersebut sangat mempengaruhi struktur jaringan organ tikus sawah di bandingkan dengan jarak sumber pemaparan gelombang ultrasonik lainnya. Hal ini karena semakin dekat jarak sumber gelombang ultarsonik maka intensitas dan energi gelombang ultrasonik semakin besar. Berdasarkan teori bahwa gelombang ultrasonik yang keluar dari jangkrik merambat keluar ke semua arah. Gelombang ultrasonik yang merambat keluar, memilki energi yang tersebar ke permukaan. Pernyebaran energi tersebut semakin lama semakin luas karena merambat dalam arah tiga dimensi, maka luas permukaan penyebaran gelombang ultrasonik merupakan luasan

ermukaan bola yaitu 4 πr^2 ("r" adalah radius bola).

Jika keluaran daya (P) dari gelombang ultrasonik jangkrik konstan, maka intensitas berkurang sebagai kebalikan dari kuadrat jarak dari sumber. Misalnya jika kita ambil dua titik dengan jarak r_1 dan r_2 dari sumber pembangkit frekuensi gelombang ultrasonik, maka $I_1 = p/4\ \pi\ r_1^2$ dan $I_2 = p/4\ \pi\ r_2^2$. Dengan demikian, jika jarak digandakan misalnya ($r_1/r_2 = 2$), maka intensitas menjadi ¼ dari nilai mula-mula ($I_2/I_1 = (1/2)^2 =$ ¼. Hal tersebut juga terjadi jika amplitudo gelombang ultrasonik berkurang terhadap jarak maka amplitudo gelombang ultrasonik menjadi berkurang sebanyak 1/r, karena intensitas sebanding dengan amplitudo maka akan sebanding dengan kebalikan dari kuadrat jarak . Jika jarak gelombang ultrasonik dua kali lipat lebih jauh dari sumber maka amplitudo akan menjadi setengahnya (Giancoli, 1998). Jadi semakin dekat jarak sumber gelombang ultarsonik dengan tikus sawah semakin besar intensitas dan energi gelombang ultrasonik jangkrik yang diterima oleh tikus. Intensitas dan energi yang diterima tikus sawah tersebut mengakibatkan perubahan pola perilaku makan pasif tikus sawah mengalami perubahan. Pada keadaan jarak sumber 100 cm ini, tikus sawah yang dalam keadaan tidak makan tersebut cenderung berkelompok atau berkumpul. Hal ini karena gelombang ultrasonik sangat mempengaruhi struktur jaringan tikus sehingga perilaku tikus sawah cenderung menjadi pasif dalam posisi berkelompok.

Tabel 3. Pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik terhadap rata-rata persentase pola perilaku makan pasif tikus sawah

T=Lama pemaparan (menit)	Rata-rata persentase pola perilaku makan pasif tikus sawah (%)
T_1=15	72,90 c
T_2=30	79,15 b
T_3=45	100 a
T_4=60	100 a

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan taraf sifnifikansi 5 %. Urutan a-d dimulai dengan angka yang tertinggi.

Hasil analisis variansi untuk melihat pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik (T) terhadap pola makan pasif tikus sawah menunjukkan bahwa interaksi lama pemaparan gelombang ultrasonik yang berbeda memberi pengaruh yang bermakna ($P < 0.05$) terhadap pola makan pasif tikus sawah.

Rata-rata perlakuan lama pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah disajikan dalam Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik yang tertinggi diperoleh pada perlakuan T_3 (lama pemaparan 45 menit) dan T_4 (lama pemaparan 60 menit) yang memberi nilai (100 %) untuk pola makan pasif tikus sawah dan tidak berbeda bermakna dengan lama pemaparan T_1 (lama pemaparan 15 menit) dan berbeda bermakna dengan lama pemaparan T_2 (lama pemaparan 30 menit)

Adapun data pendukung dari pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah adalah pengukuran biomassa. Hasil pengukuran rata-rata biomassa dihubungkan dengan pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik menunjukkan bahwa interaksi lama pemaparan gelombang ultrasonik memberikan pengaruh terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah.

Pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik yang diberikan terhadap tikus sawah dapat mempengaruhi struktur jaringan organ sel tikus sawah yang mengakibat tikus sawah pola perilaku makannya menjadi pasif, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lama pemaparan 45 menit sampai 60 menit memberikan pengaruh yang bermakna terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah. Berdasarkan teori bahwa gelombang ultrasonik merambat membawa energi dari satu medium ke medium lainnya. Energi yang dipindahkan sebagai energi getaran dari partikel ke partikel pada medium tersebut. Banyaknya energi yang dibawa partikel tersebut tiap satuan waktu merupakan daya yang diberikan oleh gelombang ultrasonik kepada suatu medium. Jadi semakin lama waktu pancaran gelombang ultrasonik terhadap suatu medium, semakin banyak medium atau jaringan tersebut menerima energi dari gelombang ultrasonik (Giancoli, 1998). Dengan demikian semakin lama waktu pemaparan gelombang ultrasonik diberikan terhadap tikus sawah semakin besar energi gelombang ultrasonik yang diterima tikus sawah dan semakin besar diperoleh hasil perubahan pola perilaku makan pasif tikus sawah tersebut. Hasil penelitian tentang mekanisme lama pemaparan gelombang ultrasonik terhadap jaringan hidup telah

dibuktikan beberapa percobaan, Wood dan Looneis (1931) melaporkan bahwa ikan, katak, binatang kecil lumpuh pada frekuensi gelombang mekanik 50 kHz dengan panjang gelombang 2,5 cm. Sedangkan sel-sel darah merah dalam larutan dapat hancur bila menerima gelombang ultrasonik dalam waktu cukup lama. Roman (1956) memberi perlakuan pada *Escherichia coli* dan *Azotobakter venelandi* dengan gelombang suara di dalam sebuah *raytheon magnet-ostractive oscillator* 10 kHz dalam waktu 10 menit dengan suhu 4^{o}C dengan pH 6,6 dan melaporkan adanya kerusakan sel (Sutiono¸ 1982). Umumnya gelombang ultrasonik untuk tujuan sterilisasi adalah membunuh bakteri yang tidak diinginkan, digunakan frekuensi 20 kHz sampai 1 MHz dengan lama pemaparan 30 menit (Oesman, 1988).

Hasil analisis variansi untuk melihat pengaruh kombinasi jarak sumber (R) dan lama pemaparan gelombang ultrasonik (T) terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah (Lampiran 3) menunjukkan bahwa kombinasi yang berbeda antara frekuensi (F), jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik ber-pengaruh bermakna ($P < 0.05$) terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah.

Rata-rata pengaruh pemberian variasi jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Dari Tabel 1 dan Tabel 2 terlihat bahwa kombinasi jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik yang terbaik diperoleh pada perlakuan $F_1R_1T_3$ dan $F_1R_1T_4$ untuk pola perilaku makan pasif tikus sawah dan berbeda bermakna dengan kombinasi jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik yang lainnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh interaksi pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola makan pasif tikus sawah untuk pengendalian hama tikus sawah bergantung pada besarnya frekuensi, jarak sumber dan lama pemaparan gelombang ultrasonik yang diberikan.

Pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik dan pengaruh jarak sumber 100 cm, 200 cm, 300 cm dan 400 cm serta pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit setelah dilakukan uji analisis variansi untuk melihat interaksi antar perlakuan, menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna ($P < 0.05$) untuk pola perilaku makan pasif dan pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik pada jarak sumber 100 cm dan lama pemaparan gelombang ultrasonik 45 menit sampai 60 menit, telah memberikan pengaruh yang bermakna terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah.

Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa kombinasi perlakuan jarak sumber dan lama pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik dengan jarak sumber 100 cm menegaskan bahwa pola perilaku makan pasif tikus sawah selama lama pemaparan 45 menit sampai 60 menit cenderung bersifat pasif. Hal ini kemungkinan disebabkan bahwa frekuensi gelombang ultrasonik jangkrik ini telah mempengaruhi struktur organ jaringan sel tikus sawah yang mengakibatkan tikus sawah terganggu aktivitas makannya dan cenderung bersifat pasif.

Pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik pada frekuensi jangkrik dengan jarak sumber pemaparan 100 cm dan lama pemaparan 45 menit sampai 60 menit yang mengakibatkan tikus sawah cenderung pola perilaku aktivitas makannya terganggu kemungkinan disebabkan terjadinya efek termal yaitu absorpsi energi gelombang ultrasonik yang menyebabkan suhu jaringan meningkat. Kenaikan suhu pada jaringan ini, tergantung pada viskositas, massa jenis, dan impedansi jaringan, serta frekuensi gelombang yang diberikan.

Gelombang ultrasonik yang melalui jaringan juga mengalami pengurangan energi, karena sebagian energinya diabsorpsi oleh jaringan akibatnya suhu jaringan meningkat. Kenaikan suhu jaringan tergantung pada besar koefisien absorpsinya dan intensitas gelombang yang melaluinya (Sabbagha, 1980). Faktor-faktor yang mempunyai peranan penting atas kerusakan jaringan pada daging dan pembebasan asam lemak dipengaruhi adanya kenaikan suhu sehingga menimbulkan panas (Hadiwiyoto, 1993; Nurwantoro dan Djariah, 1994).

Kerusakan jaringan sel ini, dapat juga disebabkan adanya efek kavitasi yaitu terjadinya gelembung gas di dalam jaringan akibat penggunaan gelombang ultrasonik untuk pemanasan lokal dengan tekanan yang bervariasi, sehingga di dalam cairan tubuh terbentuk gelembung gas mikro. Besarnya variasi tekanan untuk pemanasan lokal akibat pemaparan gelombang ultrasonik. Gas di dalam gelembung mikro ini dapat memuai jika dilalui gelombang ultrasonik sehingga mengakibatkan difusi gas yang tidak seimbang (Sabbagha, 1980).

Ada dua macam kavitasi yang terjadi dari pemaparan gelombang ultrasonik ini, yaitu

kavitasi stabil dan tidak stabil. Efek kavitasi stabil terjadi jika gelembung gas mikro tumbuh sampai ukuran tertentu lalu beresonansi pada frekuensi gelombang ultrasonik. Amplitudo osilasinya jauh lebih besar daripada amplitudo getaran partikel di dalam zat cair sebelum ada gelembung gas mikro. Jaringan disekitar gelembung gas mikro ini mengalami tegangan (stress) yang sangat besar sehingga mengakibatkan kerusakan molekul dan membran sel. Efek kavitasi yang tidak stabil lebih merusak jaringan sel. Pada tekanan rendah, gelombang ultrasonik dengan intensitas tinggi mengakibatkan timbulnya gelembung kavitasi. Tekanan tinggi menyebabkan pecahnya gelembung, sehingga energi yang serupa dengan gelombang kejut mengakibatkan kerusakan jaringan sel (Sabbagha, 1980).

Hasil eksperimen dan percobaan dengan sel-sel darah merah, protozoa, bakteri dan algae, semuanya mempertegas bahwa sel-sel itu rusak oleh perobekan sel sebagai akibat langsung efek kavitasi. Perobekan ini dapat terjadi dengan beberapa cara yang saling erat hubungannya. Jika terjadi gelembung yang mengembang dan menghilang, akan terdapat gerakan yang amat hebat di dekat gelembung dan gerak yang lemah sejauh berapa diameter terhadap gelembung. Jadi bagian dinding didekat gelembung mengalami besar nisbi terhadap bagian membran sel yang lain (Sutiono, 1982).

Menurut Dunn dan Fry (1971), kerusakan jaringan sel akibat perlakuan gelombang ultrasonik ini, dapat disebabkan oleh salah satu dari efek ini atau kombinasinya yang dapat menimbulkan pelebaran pembuluh darah, merangsang aktivitas sel, peningkatan permeabilitas membran sel dan kapiler dan hasil eksperimen mereka tentang kerusakan sistem saraf pusat mamalia akibat pemaparan gelombang ultrasonik sehingga menimbulkan kombinasi efek tersebut (Sutiono, 1982).

Hasil eksperimen dan percoban tersebut menunjukkan bahwa jaringan sel-sel rusak disebabkan adanya perobekan sebagai akibat langsung efek kavitasi. Umumnya efek kavitasi terjadi pada perubahan intensitas dan efek kavitasi stabil sudah dapat terjadi pada frekuensi diatas 40 kHz (Ackerman *et al*., 1988, dan Sabbagha, 1980). Pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif tikus sawah merupakan pengaruh luar yang dapat menyebabkan perubahan struktur jaringan atau sel. Perubahan struktur jaringan atau sel terutama terjadi pada inti sel sehingga mengakibatkan kerusakan inti dan selanjutnya menyebabkan kematian sel. Kematian sel tersebut dapat dikatakan terjadi berdasarkan konsep fisikomorfoseluler, yaitu suatu konsep yang mendasar pada pengaruh fisika yang merupakan pengaruh luar yang dapat menyebabkan perubahan struktur jaringan sel pada tingkat seluler terutama pada inti sel yang diakibatkan oleh salah satu atau kombinasi efek termal dan efek kavitasi (Sabbagha, 1980).

Pengaruh Pemaparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Pola Perilaku Gerak Pasif Tikus sawah

Hasil analisis variansi untuk melihat pengaruh jarak sumber gelombang ultrasonik (R) terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah (Lampiran 4) menunjukkan bahwa interaksi jarak sumber gelombang ultrasonik yang berbeda memberi pengaruh yang bermakna ($P < 0.05$) terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah.

Tabel 3. Pengaruh jarak sumber pemaparan gelombang ultrasonik terhadap rata-rata persentase pola perilaku gerak pasif tikus sawah

R=Jarak sumber (cm)	Rata-rata persentase pola perilaku gerak pasif tikus sawah (%)
R_1=100	70,82 a
R_2=200	68,75 b
R_3=300	64,57 c
R_4=400	66,65 d

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan taraf signifikansi 5 %. Urutan a-d dimulai dengan angka yang tertinggi.

Rata-rata perlakuan jarak sumber gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah disajikan dalam Tabel 3. Dari Tabel 3 terlihat bahwa jarak sumber (R) gelombang ultrasonik yang tertinggi diperoleh pada perlakuan R_1 (jarak sumber 100 cm) yang memberi nilai (70,82 %) dan berbeda bermakna dengan perlakuan R_2 (jarak sumber 200 cm) dan perlakuan R_3 (jarak sumber 300 cm) untuk pola perilaku gerak pasif tikus sawah dan berbeda bermakna dengan perlakuan R_4 (jarak sumber 400 cm).

Hasil penelitian untuk pola perilaku gerak pasif tikus sawah pada frekuensi yang dipancarkan jangkrik dan dengan bertambahnya lama pemaparan gelombang ultrasonik yang diberikan terhadap tikus sawah menunjukkan

bahwa pola perilaku tikus sawah untuk pola gerak pasifnya yang lebih dominan pada jarak sumber pemaparan satu meter dibandingkan dengan jarak sumber pemaparan yang lainnya. Hal ini disebabkan bahwa banyaknya energi yang dipancar suatu alat pembangkit gelombang ultrasonik (jangkrik) tergantung pada besarnya jarak yang diberikan terhadap médium atau jaringan yang menerima gelombang ultrasonik tersebut (Giancoli, 1998) dan karena intensitas sebanding dengan amplitudo maka akan sebanding dengan kebalikan dari kuadrat jarak. Dengan demikian semakin dekat jarak sumber yang diberikan terhadap tikus sawah semakin besar pengaruh perubahan pola perilaku gerak pasif yang dihasilkan. Pada keadaan ini juga, tikus sawah yang dalam keadaan tidak gerak atau diam tersebut cenderung sifatnya berkelompok atau berkumpul. Hal ini terjadi karena gelombang ultrasonik yang diterima tikus sawah sudah sangat mempengaruhi organ jaringan sel pendengarannya sehingga mengakibatkan tikus sawah pola perilaku geraknya menjadi pasif atau diam.

Hasil analisis variansi untuk melihat pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik (T) terhadap pola gerak pasif tikus sawah (Lampiran 4) menunjukkan bahwa interaksi lama pemaparan gelombang ultrasonik yang berbeda memberi pengaruh yang bermakna ($P < 0.05$) terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah.

Rata-rata perlakuan lama pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah disajikan Tabel 4. Dari Tabel 4., terlihat bahwa lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik yang tertinggi diperoleh pada perlakuan T_4 (lama pemaparan 60 menit) yang memberi nilai (97,90 %) dan tidak berbeda bermakna dengan lama pemaparan T_3 (lama pemaparan 45 menit) untuk pola perilaku gerak pasif tikus sawah dan berbeda bermakna dengan perlakuan T_1 (lama pemaparan 15 menit), dan T_2 (lama pemaparan 30 menit).

Lama pemaparan gelombang ultrasonik yang diberikan terhadap tikus sawah dapat juga mempengaruhi struktur jaringan organ sel pendengaran tikus sawah sehingga tikus sawah pola perilaku geraknya menjadi pasif, hasil penelitian terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah menunjukkan bahwa lama pemaparan 45 menit sampai 60 menit memberikan pengaruh yang bermakna terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah. Berdasarkan teori bahwa gelombang ultrasonik merambat membawa energi dari satu medium ke medium lainnya. Banyaknya energi yang dibawa partikel tersebut tiap satuan waktu merupakan daya yang diberikan oleh gelombang ultrasonik kepada suatu medium (Giancoli, 1998). Dengan demikian semakin lama waktu pemaparan gelombang ultrasonik diberikan terhadap tikus sawah semakin besar energi gelombang ultrasonik yang diterima tikus sawah dan semakin besar pengaruhnya terhadap organ jaringan sel pendengaran tikus sawah yang menyebabkan pola perilaku geraknya menjadi pasif atau diam karena struktur organ jaringan selnya terganggu.

Tabel 4. Pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik terhadap rata-rata persentase pola perilaku gerak pasif tikus sawah

T=Lama pemaparan (menit)	Rata-rata persentase pola perilaku gerak pasif tikus sawah (%)
T_1=15	31,25 d
T_2=30	52,07 c
T_3=45	89,57 b
T_4=60	97,90 a

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan taraf sifnifikansi 5 %. Urutan a-d dimulai dengan angka yang tertinggi.

Hasil analisis variansi untuk melihat pengaruh kombinasi jarak sumber (R) dan lama pemaparan gelombang ultrasonik (T) terhadap pola gerak pasif tikus sawah (Lampiran 4) menunjukkan bahwa kombinasi yang berbeda antara frekuensi (F), jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik ber-pengaruh bermakna ($P< 0.05$) terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah.

Rata-rata pengaruh pemberian variasi jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku gerak pasif tikus sawah disajikan dalam Tabel 4 dan 5. Dari Tabel 4 dan 5 terlihat bahwa kombinasi frekuensi (F), jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik yang terbaik diperoleh pada perlakuan $F_1R_1T_3$ dan $F_3R_1T_4$ untuk pola perilaku gerak pasif tikus sawah dan berbeda bermakna dengan kombinasi jarak sumber (R) dan lama pemaparan (T) gelombang ultrasonik yang lainnya.

Hasil penelitian dan analisis variansi menunjukkan bahwa pengaruh interaksi pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola

perilaku gerak pasif tikus sawah untuk pengendalian hama tikus sawah bergantung pada besarnya frekuensi, jarak sumber pemaparan dan lama pemaparan gelombang ultrasonik yang diberikan.

Pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik, pengaruh jarak sumber 100 cm, 200 cm, 300 cm dan 400 cm serta pengaruh lama pemaparan gelombang ultrasonik 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit setelah dilakukan uji analisis variansi untuk melihat interaksi antara tiap perlakuan, menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna ($P < 0.05$) untuk pola gerak pasif dan pengaruh perlakuan gelombang ultrasonik jangkrik pada jarak sumber 100 cm dan lama pemaparan gelombang ultrasonik 45 menit sampai 60 menit, sudah memberikan pengaruh yang bermakna terhadap pola gerak pasif tikus sawah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan jarak sumber dan lama pemaparan gelombang ultrasonik untuk frekuensi jangkrik dengan jarak sumber pemaparan 100 cm mempertegas bahwa pola gerak tikus sawah selama lama pemaparan 45 menit sampai 60 menit cenderung bersifat pasif. Hal ini kemungkinan disebabkan bahwa gelombang ultrasonik jangkrik ini sudah sangat mempengaruhi jaringan sel saraf organ pendengaran tikus sawah sehingga mengakibatkan gerakan tikus sawah gerakannya menjadi pasif atau diam.

Terganggunya aktivitas gerak akibat pemaparan gelombang ultrasonik jangkrik ini terhadap tikus sawah kemungkinan disebabkan terjadinya efek mekanik yaitu; gerakan partikel sehingga dapat menimbulkan percepatan partikel, getaran tekanan, tekanan pemancar (sumber), dan gaya gesek. Ketergantungan besaran besaran efek mekanik ini akibat pemaparan gelombang ultrasonik di dalam teori dinyatakan pada persamaan 2.25. Munculnya efek mekanik akibat adanya intensitas gelombang yang dipancarkan alat pembangkit gelombang ultrasonik (jangkrik) dan kecepatan rambat gelombang di dalam jaringan. Kecepatan gelombang ultrasonik di dalam jaringan lunak merambat secara longitudinal dengan kecepatan rata-rata sekitar 1.540 ms^{-1} (Cameron and Skofronick, 1978) dan efek mekanik ini terjadi pada semua tingkatan intensitas (Sabbagha, 1980).

Pola gerak pasif tikus sawah kemungkinan lebih banyak isebabkan oleh efek mekanik daripada efek termal dan efek kavitasi karena kenaikan suhu jaringan sel akibat pemaparan gelombang ultrasonik sangat sedikit. Hal ini didukung hasil laporan eksperimen Hawley (1963) bahwa efek mekanik dapat merusak molekul sel jaringan lunak dan penurunan molekul DNA terjadi dengan menggunakan gelombang ultrasonik frekuensi 1MHz berintensitas 30 Wcm^{-2} (Sutiono, 1982).

Hasil penelitian, eksperimen dan studi tentang efek mekanik dapat mempengaruhi jaringan sel akibat pemaparan gelombang ultrasonik ini antara lain: Pengaruh mekanik berupa kompresi, distraksi, gravitasi, gelombang elektromagnetik dan gelombang ultrasonik dapat mempengaruhi aktivitas sel (Buckwalter *et al*, 2000). Pengaruh mekanik berupa gelombang ultrasonik untuk mempercepat penyembuhan patah tulang telah dibuktikan 40 % lebih cepat (Rubin *et al*., 2001). Pengaruh gelombang ultrasonik intensitas rendah pada fase inflamasi dibuktikan dengan peningkatan produksi PGE2 oleh sel osteoblas (Kokubu *et al*., 1999). Studi pengaruh tekanan mekanik sampai tingkat molekuler pada kultur sel telah dikemukakan oleh Takahasshi (1997) dan gelombang ultrasonik intensitas rendah mampu mempengaruhi aktivitas sel jaringan ikat (Herle *et al*., 2001).

Gambar 1. Pola gerak pasif tikus saat terpapar gelombang ultrasonik jangkrik

Gelombang Ultrasonik Jangkrik

Hama tikus sawah merupakan suatu masalah yang banyak menimbulkan kerugian di sektor pertanian. Serangan hama tikus sawah ini berdampak terhadap kehidupan petani di beberapa daerah di Indonesia. Oleh karena itu, upaya pengendalian hama tikus sawah perlu ditingkatkan cara mengatasinya supaya penghasilan ekonomi di sektor pertanian ini tidak

mengalami kerugian terus menerus yang diakibatkan oleh tikus sawah.

Pendayagunaan gelombang ultrasonik untuk tujuan pengendalian hama tikus sawah merupakan suatu metode mekanis disamping metode kimia dan biologis. Metode mekanis ini merupakan suatu konsep fisika dengan pendekatan biofisika yang menggunakan prinsip gelombang untuk pengendalian dan mempunyai pengendalian yang ramah lingkungan dan tidak tercemar. Gelombang ultrasonik jangkrik untuk pengendalian hama tikus sawah ini berfrekuensi dalam rentangan antara 1.5 kHz sampai 200 kHz dan rentangan frekuensi ini masih dapat didengar oleh tikus sawah, karena masih dapat mengeluarkan gelombang mekanis/bunyi (Cameron and Skofronick, 1978).

Gelombang ultrasonik jangkrik adalah jangkrik sebagai alat untuk memancarkan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz dan mentrasmisikan energi dalam perambatannya. Gelombang ultrasonik pada frekuensi 60 kHz merupakan batas yang dapat didengar oleh makluk hidup, di atas frekuensi tersebut gelombang ultrasonik ini tidak dapat didengar lagi bunyinya. Insekta pada umumnya menggunakan gelombang ultrasonik untuk berkomunikasi dalam rentangan frekuensi 20 kHz sampai 60 kHz. Komunikasi ini dilakukan untuk mengetahui perubahan informasi dan mendeteksi lokasi dari suatu objek. Gelombang ultrasonik yang diterima insekta dapat menghasilkan bermacam-macam tanggapan yang meliputi daya tarik seks, pertahanan wilayah, tanda bahaya, dan perubahan lintasan terbang untuk mempertahankan kelompoknya (Ackerman *et all*., 1988).

Nampak bahwa pada frekuensi jangkrik sebesar 20kHz maka energi yang 55,38% dipantulkan dan yang diteruskan sebesar 44,62% atau diserap pada bidang batas, ini disebabkan medium udara (Z_{udara})<(Z_{air}) medium air (jaringan lunak). Kekuatan bunyi total yang dihasilkan adalah $2{,}442x10^{3}Wcm^{-2}$ yang terdiri dari kekuatan bunyi yang dipantulkan sebesar $1{,}352x10^{3}Wcm^{-2}$ dan kekuatan bunyi yang diteruskan atau diserap sebesar $1{,}090x10^{3}Wcm^{-2}$ sedangkan jarak efektif frekuensi ini untuk memberikan dampak seperti yang telah disebutkan adalah 161,32cm.

Pemaparan gelombang ultrasonik terhadap tikus sawah merupakan pengaruh luar yang dapat mempengaruhi pola perilaku tikus sawah. Pengaruh luar ini suatu konsep yang mendasar pada pengaruh fisika yang merupakan konsep gelombang mekanis atau bunyi (Resnick& Halliday, 1992) yang dapat menyebabkan perubahan pola perilaku pada tikus sawah.

Tabel 5. Transmisi dan refleksi gelombang ultrasonik pada bidang batas udara dan air (Jaringan lunak)

rekuensi (kHz)	Refleksi (%)	Transmisi (%)	Intensitas (x 10^3 Wcm^{-2})			X (cm)
			I_i	I_r	I_t	
20	55,38	44,62	2,442	1,352	1,090	161,32

Keterangan : X = nilai paruh ketebalan jaringan (Valuefluckness) adalah ketebalan jaringan yang diperlukan untuk menurunkan intensitas mula-mula menjadi setengah mula-mula.

Perubahan pola perilaku ini didasarkan pada perlakuan frekuensi dan intensitas yang dipancarkan oleh gelombang ultrasonik jangkrik terhadap tikus sawah dan perlakuan jarak sumber serta lama pemaparan yang diberikan terhadap tikus sawah. Pemaparan gelombang ultrasonik yang diberikan terhadap tikus sawah dapat mempengaruhi struktur organ jaringan sel tikus sawah sehingga menimbulkan efek biologis pada tikus sawah yaitu efek termal, efek kavitasi, dan efek mekanik. Dengan adanya efek biologis pada tikus sawah tersebut akan mengakibatkan terjadi perubahan pola perilaku makan dan gerak yang pada akhirnya pola perilaku tikus sawah tersebut menjadi bersifat pasif.

Pengaruh intensitas gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh gelombang ultrasonik jangkrik ini, dapat juga mempengaruhi kerusakan jaringan organ sel tikus sawah yang mengakibatkan pola perilaku makan menjadi pasif. Hasil perhitungan teori dengan menggunakan persamaan diperoleh intensitas gelombang ultrasonik yang datang pada jaringan lunak $2{,}442x10^{3}$ Wcm^{-2} dan intensitas gelombang ultrasonik yang direfleksikan atau dipantulkan jaringan lunak diperoleh $1{,}352x10^{3}$ Wcm^{-2} serta intensitas gelombang ultrasonik yang ditransmisikan jaringan lunak diperoleh 1,090 x 10^{3} Wcm^{-2}. Sedangkan banyaknya pancaran gelombang ultrasonik dengan impedansi akustik udara (Z_{udara}) lebih kecil daripada impedansi akustik air (Z_{air}) pada frekuensi jangkrik ini diperoleh dengan persamaan 2.13 untuk intensitas refleksi pada bidang batas sebesar 55,38% dan persamaan 2.14 untuk intensitas yang ditransmisikan ke dalam air atau

jaringan lunak sebesar 44,62%. Intensitas yang dipakai dalam bidang kedokteran untuk diagnostik adalah frekuensi 1 MHz sampai 5 MHz dengan intensitas 0,01 Wcm^{-2}, untuk pengobatan adalah ditingkatkan sampai 1 Wcm^{-2}, sedangkan untuk merusak jaringan sel kanker intensitasnya 1000 Wcm^{-2} (Oesman, 1988). Suatu berkas penyinaran dikatakan intensitas tinggi, jika intensitas maksimumnya paling sedikit $10^3 Wcm^{-2}$ (Ackerman *et al.,* 1988).

Intensitas gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh jangkrik ini, dapat mempengaruhi kerusakan jaringan organ sel pendengaran tikus sawah yang mengakibatkan pola perilaku geraknya menjadi pasif. Besarnya intensitas yang dipancarkan jangkrik dari hasil perhitungan secara teori dengan menggunakan persamaan 2.2 diperoleh intensitas gelombang ultrasonik yang diterima tikus sawah adalah 2,442 x 10^3 Wcm^{-2}. Jadi dengan intensitas gelombang ultrasonik sebesar 2,442 x 10^3 Wcm^{-2} sudah dapat mempengaruhi struktur jaringan sel pendengaran tikus sawah yang mengakibatkan pola perilaku gerak menjadi pasif/diam. Hal ini sesuai dengan penggunaan gelombang ultrasonik bahwa kerusakan jaringan kanker digunakan intensitas gelombang ultrasonik sebesar 10^3 Wcm^{-2} (Oesman, 1988).

Pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus sawah ini, beberapa kemungkinan disebabkan bahwa gelombang ultrasonik mempengaruhi morfologi sel sehingga mengalami perubahan fungsionalisasi sel yang terjadi lebih cepat. Pemaparan gelombang ultrasonik yang mengenai permukaan sel dapat mengaktifkan aktivitas sel. Pemaparan gelombang ultrasonik sama dengan pemberian bentuk energi mekanik yang diteruskan ke jaringan biologis dengan frekuensi melebihi batas kemampuan pendengaran manusia, maka energi mekanik yang disebabkan gelombang ultrasonik dapat mengubah ikatan-ikatan molekul di dalam jaringan biologis sehingga mempengaruhi metabolisme sel. Pemaparan gelombang ultrasonik yang dilberikan dengan waktu yang lama juga dapat menghambat aktivitas sel di dalam jaringan biologis.

Hasil pengamatan saat pemaparan gelombang ultrasonik terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus sawah terdapat perbedaan dengan kelompok yang tidak mendapat perlakuan gelombang ultrasonik (kontrol). Biomassa makanan tikus sawah yang mendapat perlakuan gelombang ultrasonik cenderung berkurang dibandingkan tikus sawah yang tidak mendapat perlakuan gelombang ultrasonik. Hal ini dapat dilihat pada hasil perhitungan biomassa makanan yang terdapat pada lampiran 5 dan 6. Sedangkan pola gerak tikus sawah terdapat perbedaan dengan kelompok tikus sawah yang tidak mendapat perlakuan gelombang ultrasonik (kontrol) adalah tikus sawah yang mendapat perlakuan gelombang cenderung aktivitas gerakannya menjadi pasif dan terkadang juga melakukan gerakan seperti pergerakan kepala tetapi akhirnya kembali diam.

Hasil penelitian pengendalian hama tikus sawah dalam skala laboratorium ini, terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif diperoleh bahwa frekuensi jangkrik dengan jarak sumber pemaparan 100 cm dan lama pemaparan 45 menit sampai 60 menit sudah memberi pengaruh yang bermakna terhadap perubahan pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus sawah. Sasaran ke depan setelah penelitian laboratorium terhadap pengendalian hama tikus sawah adalah penerapannya di lokasi terjadinya serangan hama tikus sawah.

Parameter-parameter yang perlu dikembangkan dari hasil penelitian laboratorium ini untuk penerapa di lapang adalah memodifisikasi kandang jangkrik sehingga mempunyai jangkauan pancaran gelombang ultrasonik menjadi lebih jauh dari ukuran hasil penelitian di laboratorium. Dalam hal ini dilakukan dengan cara meningkatkan intensitas gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh jangkrik, karena intensitas sebanding dengan amplitudo maka akan sebanding dengan kebalikan dari kuadrat jarak. Dengan demikian, peningkatan intensitas dari alat pembangkit frekuensi gelombang (jangkrik) akan mempengaruhi jarak pancaran gelombang ultrasonik terhadap tikus sawah.

Waktu lama pemaparan gelombang ultrasonik dapat dipersingkat waktunya menjadi lebih pendek dengan cara meningkatkan daya yang diberikan kepada tikus sawah yaitu dengan meningkatkan energi yang dipancarkan jangkrik karena banyaknya energi yang dibawa partikel tersebut tiap satuan waktu merupakan daya yang diberikan oleh gelombang ultrasonik kepada suatu jaringan/medium sehingga semakin besar daya yang berikan kepada tikus sawah semakin banyak energi gelombang ultrasonik yang diterima tikus sawah dan semakin cepat waktu yang dihasilkan untuk perubahan pola perilaku tikus sawah.

Dengan mengetahui parameter-parameter yang telah dikemukan terhadap pengembangan kandang jangkrik, maka sasaran pengendalian hama tikus sawah di lapangan atau dilokasi terjadi serangan hama tikus sawah dapat tercapai dan terpenuhi yang pada akhirnya dapat disosialisasikan kepada masyarakat/petani yang Sasaran penelitian ke depan berikutnya adalah mengkaji efek biologis akibat pemaparan gelombang ultrasonik terhadap tikus sawah terutama adanya efek termal, efek kavitasi dan efek mekanik yang ditimbul gelombang ultrasonik terhadap jaringan organ sel tikus sawah. Dengan mengetahui efek biologis dari pemaparan gelombang ultrasonik terhadap tikus sawah maka dapat dimanfaatkan untuk kepentingan berikutnya, baik untuk kepentingan bagi para peneliti maupun bagi kepentingan masyarakat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Gelombang ultrasonik jangkrik dapat menimbulkan perubahan pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus sawah. Frekuensi gelombang ultrasonik jangkrik (1.5–200 kHz) dengan jarak 100 cm dan lama pemaparan 45-60 menit sudah dapat menimbulkan perubahan pola perilaku makan pasif dan gerak pasif.

Saran

Diperlukan modifikasi kandang jangkrik yang dapat memfokuskan suara jangkrik yang dilengkapi dengan 4 buah speaker di sisi-sisinya sehingga daya dan jangkauan pancaran gelombang ultrasonik menjadi lebih jauh. Daya ditingkatkan agar efek yang diterima oleh tikus semakin besar sehingga agar waktu lama pemaparan gelombang ultrasonik dapat dipersingkat. Diperlukan penelitian lanjutan tentang pengaruh pemaparan gelombang ultrasonik dengan perlakuan yang sama dalam kondisi lapang (aplikasi lapang) untuk mengkaji efek biologis tikus sawah setelah diberikan perlakuan gelombang ultrasonik.

DAFTAR PUSTAKA

Ackerman E., Lynda B.M.E., Lawrence E.W. 1988. Ilmu Biofisika (terjemahan; Redjani, Abdulbasir). Airlangga University Press. Surabaya

Adianto dan Soelaksono S. 1987. Ekotoksikologi Dan Pestisida. Pusat Antar Universitas Bidang Ilmu Hayati ITB. Bandung

Anwar A. 1994. Pembangunan Pertanian dan Sistem Penyuluhan di Masa Depan. Journal of Agricultural Extension. Departemen Pertanian. Jakarta

Anonimous. 1989. Kamus Besar Bahasa Indonesia cetakan kedua. Balai Pustaka. Jakarta

Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Holtikultura. 2000. Laporan Tahunan Serangan Hama Tikus. Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura Tk. II Ketapang

Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Holtikultura. 1996. Pestisida Untuk Pertanian Dan Kehutanan. Dinas Pertanian Tanaman Pangan Dan Hortikultura

Badan Litbang Pertanian. 2008. Tikus.http://www.knowledgebank.irri.org/regionalsites/indonesia/PDF%20files/tikus_BW.pdf. Tanggal akses 20 Mei 2008

Buckwalter, Emhorn, Simon, 2000. Orthopaedic Basic Science, Biology and biomechanic of the musculoskeletal system, 2nd ed American Academy of Orthopaedic Surgeon, pp 320-355.

Bueche R. J. 1986. Introduction to Physics for Scientists and Engineers. Mc Graw-Hill. New York

Cameron J. R., and Skofronick J. G. 1978. Medical Physics. John Wiley and Sons Inc. New York

CV Mabindo Jaski. 2007. Pest Control. http://mabindojaski.indonetwork.co.id/544335/pest-control.htm. Tanggal akses 20 Mei 2008

Dunn F., and Fry F. J. 1971. Ultrasonic threshold dosages for the central mammalian nervous system IEEE Trans Bio Eng 18.

Giancoli D.C. 1998. Fisika. Penterjemah Yuhilsa Hanum. Penerbit Erlangga. Jakarta

Hadiwiyoto S., 1993. Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan. Jilid 1. Penerbit Liberty. Yogyakarta

Herle J., Salih V., Mayia F., Knowles J.C., Olsen I., 2001. Effect of Ultrasound on The Growth and Function of Bone and Periodontal Ligament Cells In Vitro. Ultrasound in Med Bol. 27:4.579-586.

Hoeve Van H. 1996. Ensiklopedi Indonesia Seri Fauna Tentang Serangga/Insekta. Penerbit PT Icthiar Baru Van Hoeve. Jakarta

Kashoven L.G.E. 1986. Pests of Crops in Indonesia. Penerbit Ikthiar Baru-Van Hoeve. Jakarta

Kompas. 2003. Hama Tikus Mengganas di Kudus. http://64.203.71.11/kompascetak/0304/10/ja

teng/249471.htm. Tanggal akses 20 Mei 2008 pukul 19.07 WIB.

Kompas. 2007. Pengendalian Hama Tikus Perlu Diintensifkan. http://www.kompas.com/ver1/Negeriku/0712/14/212820.htm. Tanggal akses 20 Mei 2008

Kujak A., and Wisono W.S. 1986. Diagnostik Ultrasound in Developing Countries. Madost. Zegreb

Kokubu T., Matsui N., Fujuoka H., Tsunoda M., Mizuno K. 1999. Low Intensity Pulsed Ultrasound Exposure Increase Prostaglandine E2 Production via the Induction of Cyclooxygenese-2 mRNA in mouse Osteoblast. Biochem, Biophys Res. Comm. 256

Oesman Ma. 2008. Dasar-dasar Ultrasonografi Diagnostik. Seminar Penggunaan Ultrasonografi dalam Bidang Kedokteran. Bali. 3 Desember 2008.

Pemoeda-pemoedie. 2007. Tikus Sawah (*Rattus argentiventer* Rob & Kloss). http://pemoeda-pemoedie.com/2007/10/tikus-sawah.html. Tanggal akses 20 Mei 2008

Purwanto F.H.M. 1986. Fisika Terapan. Penerbit Karunika UT. Jakarta

Resnick R., dan Halliday D. 1992. Fisika. Penterjemah Pantur Silaban dan Erwin Sucipto. Penerbit Erlangga. Jakarta

Rubin C., Bolander M., Ryabi J.P., Hadjiargyrou M. 2001. The Use of Low-Intensity Ultrasound to Accelerate the Healing of Fractures, J. Bone Joint Surg (Am) 83:259-269.

Sabbagha R. E. 1980. Diagnostic Ultrasound Applied to Obstetrics and Gynecology. Haper & Row. London

Sales G., and D. Pye. 1974. Ultrasonic Communication by Animals. John Wiley & Sons, Inc. New York

Sridadi dan Rachmanto. 1999. Teknik Beternak Jangkrik. Penerbit kanisius. Yogyakarta

Sutiono B.T. 1982. Studi Keamanan Penggunaan Gelombang Ultrasonik dalam kedokteran. Fisika Institut Teknologi Bandung. Bandung

Sutrisno. 1988. Gelombang dan Optik Seri Fisika Dasar Jilid 2. Institut Teknologi Bandung. Bandung

Takahashi. 1997. Hydrostatic Pressure Influences mRNA Expression of TGF-bl and HSP 70 in Chondrocyte Like Cell Line, J Bone Joint Surg (Am) 15:150-158.

Wilson E.O. 1972. Animal Communication, Science Am. 227:52-60

Wudianto R. 2002. Petunjuk Penggunaan Pestisida. Penerbit Penebar Swadaya. Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Transmisi Gelombang Ultrasonik Antara Medium Udara dengan Air/Jaringan Lunak

Medium 1 adalah $Z_{udara} = \rho_{udara}$

v_1 = 1,25 kgm^{-2} x 340 ms^{-1}

= 425 $kgm^{-2}s^{-1}$

v_1 = kecepatan gelombang ultrasonik diudara

= 340 ms^{-1}

ρ_{udara} = massa jenis udara

= 1,25 kgm^{-2}

Medium 2 adalah $Z_{air} = \rho_{air}$

v_2 = 1 kgm^{-3} x 1480 ms^{-1} = 1480 $kgm^{-2}s^{-1}$

v_2 = kececepatan gelombang ultrasonik air

= 1480 ms^{-1}

ρ_{air} = massa jenis air

= 1 kgm^{-3}

Keterangan $Z_{jaringan\ lunak}$ dengan Z_{air} ≈ (sebanding) (Sumber : Ackerman, 1988)

intensitas gelombang ultrasonik yang datang melalui medium 1 (udara) adalah :

$I = ½\ Z_{udara}\ A^2\omega 2$ ..... (1)

Keterangan

A= $\frac{c}{2\pi f}$; Amplitudo akustik ..... (2)

Jika frekuensi gelombang ultrasonik dari jangkrik yang digunakan adalah 20 kHz maka:

F = 20 kHz = 20.000 Hz

A_{20} = $\frac{340}{2(3,14)(20.000)} = \frac{340}{125600}$ = 270 x 10^{-5} m

I_{20} = ½ (425) (729 x 10^{-10}) (1,577 x10^{10})

= 2, 442 x 10^7 wm^{-2}

= 2,442 x 10^3 wcm^{-2} ..... (3)

Pancaran gelombang ultrasonik yang datang tegak lurus pada bidang batas dapat menghasilkan gema (refleksi) dengan jumlah pancaran gelombang ultrasonik pada amplitudo Ao yang datang adalah 100 %, maka :

$$\frac{R}{A_0} = \frac{Z_{jaringan} - Z_{udara}}{Z_{jaringan} + Z_{udara}}$$

$$\frac{R}{100} = \frac{Z_{jaringan} - Z_{udara}}{Z_{jaringan} + Z_{udara}}$$

Jadi: $R = \frac{Z_{jaringan} - Z_{udara}}{Z_{jaringan} + Z_{udara}}$ x 100%

$$R = \frac{1480 - 425}{1480 + 425} \times 100\%$$

$$R = \frac{1055}{1905} \times 100\% = 55{,}38\%$$

Atau $\frac{55{,}38}{100} = 0{,}5538\%$ ..... (4)

Banyak pancaran gelombang ultrasonik yang ditransmisikan setelah melewati bidang batas dengan jumlah pancaran gelombang ultrasonik pada amplitudo A_0 yang datang adalah 100 %, maka adalah :

$$\frac{T}{A_0} = \frac{2Z_{udara}}{Z_{jaringan} + Z_{udara}}$$

$$\frac{T}{100\%} = \frac{2Z_{udara}}{Z_{jaringan} + Z_{udara}}$$

$$T = \frac{2Z_{udara}}{Z_{jaringan} + Z_{udara}} \times 100\%$$

Jadi $T = \frac{2(425)}{1480 + 425} \times 100\% = 44{,}62\%$

atau $T = \frac{44{,}61}{100} = 0{,}4462$ ..... (5)

Berarti ; R +T = 55,38 % + 44,62 % = 100%,
Besarnya intensitas gelombang ultrasonik yang dipantulkan (I_r) dan ditrasmisikan (I_t) adalah :
Untuk frekuensi = 20 kHz

I_r (20) = 0,5538 x 2,442 x 10^3 wcm^{-2}
= 1,352 x 10^3 wcm^{-2}

I_t (20) = 0,4462 x 2,442 x 10^3 wcm^{-2}
= 1,090 x 10^3 wcm^{-2}

Jadi $I_i = I_r + I_t$ ..... (6)

Berdasarkan persamaan 2.8 dapat diungkap bahwa besarnya intensitas gelombang ultrasonik yang menetap pada medium 2/jaringan adalah :

$$I_t = I_i e^{-2\alpha x} \quad \text{..... (7)}$$

Sehingga nilai paruh ketebalan jaringan transmisi gelombang ultrasonik menjadi :

$$X = \frac{In \frac{I_t}{I_i}}{-2\alpha} \quad \text{..... (8)}$$

Jadi :
Untuk frekuensi = 20 kHz

$$X_{(20)} = \frac{In \frac{1{,}090}{2{,}442}}{-2(2{,}5x10^{-4})}$$

$$= \frac{In 0{,}44635}{-0{,}005}$$

$$= \frac{-0{,}8066}{-0{,}005} = 161{,}32 \text{ cm}$$

α = 2,5 x 10^{-4} cm^{-1} = koefisien absorbsi jaringan lunak (Cameron, 1978).

Nilai paruh ketebalan (*half – value thickness*) jaringan adalah ketebalan jaringan yang diperlukan untuk menurunkan intensitas mula-mula (I_i) menjadi ½

Diterima : 23 September 2010
Disetujui : 4 Januari 2011