

BAB 5

Potensi Penggunaan Gelombang Ultrasonik Jangkrik bagi Nyamuk Tular Vektor

Sama' Iradat Tito dan Leny Ardini Arianti

A. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara iklim tropis sehingga kondusif untuk hidup berbagai spesies nyamuk yang merupakan vektor bagi beberapa penyakit (Harviyanto & Windraswara, 2017). Masalah ini dikhawatirkan berpotensi menimbulkan banyak penyakit yang disebabkan oleh nyamuk, seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, chikungunya, kaki gajah, dan masih banyak lagi. Menurut data Kementerian Kesehatan (2022), jumlah kasus dengue di Indonesia mencapai 143.000 kasus dengan angka kejadian dengue terbanyak berada di Provinsi Jawa Barat, Jawa Timur, dan Jawa Tengah. Semua wilayah tersebut termasuk wilayah yang padat penduduk. Angka kematian akibat dengue pada tiga provinsi tersebut sebesar 58%

S. I. Tito* & L. A. Arianti

*Universitas Islam Malang, *e-mail*: sama_iradat_tito@unisma.ac.id

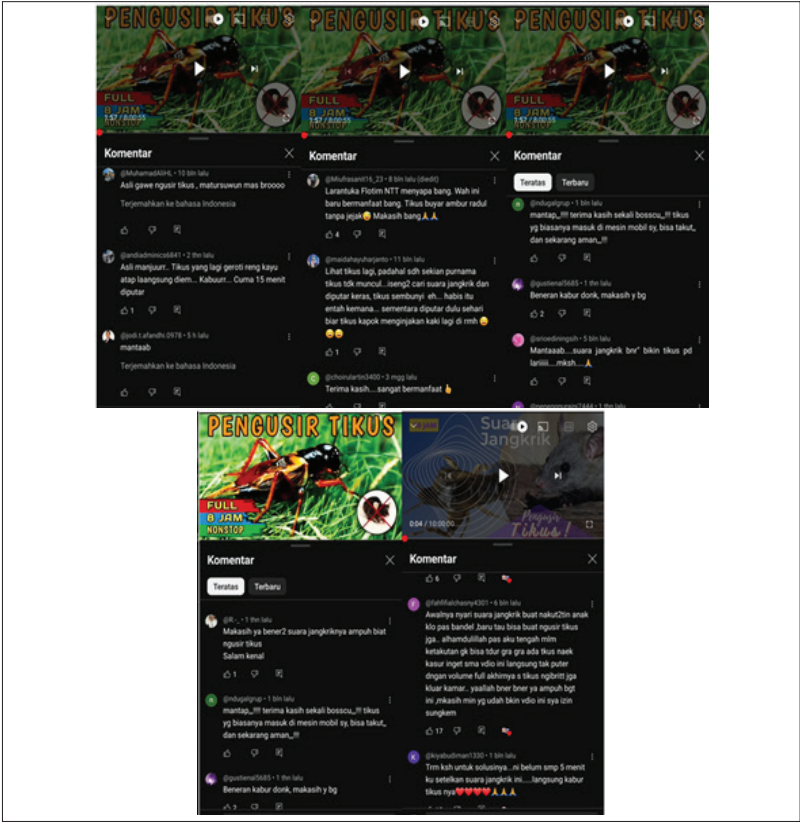
©2024 Editor & Penulis

Tito, S. I. & Arianti, L. A. (2024). Potensi penggunaan gelombang ultrasonik jangkrik bagi nyamuk vektor tular. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (125–163). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589.c1275 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

dari total 1.236 kematian. Tingginya angka kematian akibat vektor penyakit, yakni nyamuk tentu tidak bisa dibiarkan begitu saja, perlu adanya solusi agar vektor nyamuk dapat terkendali. Hal ini kemudian menjadi masalah kesehatan terkait nyamuk sebagai vektor penyakit di Indonesia.

Berbagai upaya pencegahan dan pengendalian vektor nyamuk telah dilakukan guna mengurangi timbulnya penyakit yang ditularkan oleh nyamuk, seperti pemberantasan jentik nyamuk, *fogging*, pembakaran/obat nyamuk bakar elektrik, penggunaan kelambu, penggunaan obat nyamuk, penyemprotan insektisida, serta minum obat pencegahan saat bepergian ke daerah endemis (khusus malaria) (Kemenkes RI, 2007). Akan tetapi, hampir semua tindakan tersebut dapat menimbulkan kerugian baik jangka pendek maupun jangka panjang bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya. Penggunaan bahan kimia seperti insektisida secara berlebihan tentunya tidak baik bagi kesehatan dan dapat menimbulkan keracunan bahkan kematian. *Fogging* dan obat nyamuk dapat membunuh nyamuk dewasa, tetapi jentiknya masih tetap ada. Permasalahan resistansi insektisida juga merupakan tantangan dalam pengendalian vektor nyamuk secara kimiawi (Sarudji, 2006). Selain itu, terdapat metode yang diterapkan dalam upaya pencegahan penyakit akibat nyamuk *Aedes*, yakni dengan metode COMBI (*Communication for behavioral impact*). Metode ini berfokus pada komunikasi untuk terbentuknya perubahan perilaku agar melaksanakan pemberantasan sarang nyamuk (PSN) secara rutin dan spesifik. Kegiatan PSN COMBI dilaksanakan melalui tiga tahap manajemen PSN COMBI, yaitu perencanaan, pelaksanaan, dan monitoring serta dilaksanakan evaluasi proses dan evaluasi tahap akhir kegiatan secara keseluruhan. Kegiatan PSN DBD (pemberantasan sarang nyamuk demam berdarah dengue) spesifik yang dilakukan masyarakat didukung dengan kunjungan rumah secara berkala serta komunikasi dan motivasi melalui penyuluhan oleh Jumantik kepada keluarga terbukti efektif dalam meningkatkan Angka Bebas Jentik di Kelurahan Sidomulyo Timur menjadi 97,36% dalam 10 minggu pelaksanaan hingga 11 Juni 2008 (Hendrayanti & Bachtiar, 2008). Metode ini memiliki hambatan saat pelaksanaan, yakni pada waktu, tenaga, dan

membutuhkan kerja sama berbagai pihak (Hendrayanti & Bachtiar, 2008). Sejak ditemukannya hubungan antara nyamuk dan penularan virus, pencegahan penyebaran penyakit dan pengendalian populasi nyamuk menjadi prioritas utama (Medlock et al., 2005). Meskipun metode pengendalian telah digunakan, penyakit yang ditularkan oleh nyamuk masih berkembang pesat di banyak negara dan menyebabkan jutaan kematian (Tren & Bate, 2001). Berbagai upaya telah dilakukan dalam rangka pengendalian vektor nyamuk, salah satu upaya yang layak dipertimbangkan adalah dengan memanfaatkan gelombang ul-



Sumber: Play On (2021); Semua Suara (2022)

Gambar 5.1 Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik dalam Mengusir Hama

trasonik dalam pengendalian vektor. Contoh pemanfaatan gelombang ultrasonik dalam mengusir hama dapat dilihat dalam Gambar 5.1.

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ultrasonik memiliki potensi sebagai pengendali hama nyamuk. Salah satu penghasil gelombang ultrasonik secara alami dan mudah ditemukan oleh masyarakat adalah jangkrik. Keuntungan penggunaan gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik adalah tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, tidak menghasilkan suara yang mengganggu telinga manusia karena frekuensinya di luar rentang normal pendengaran manusia, serta dapat mengganggu kehidupan jentik nyamuk dan nyamuk dewasa secara termal akibat efek panas yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik dan efek lainnya (Tito, 2017). Berdasarkan hal tersebut, perlu ditelaah lebih lanjut potensi teknik pengendalian hama berbasis nyamuk dengan pemanfaatan gelombang ultrasonik yang lebih efektif dan efisien, salah satunya adalah biokontrol hama nyamuk dengan menggunakan Jangkrik (*Acheta domesticus*).

B. Potensi Penggunaan Gelombang Ultrasonik Jangkrik Bagi Nyamuk Tular Vektor

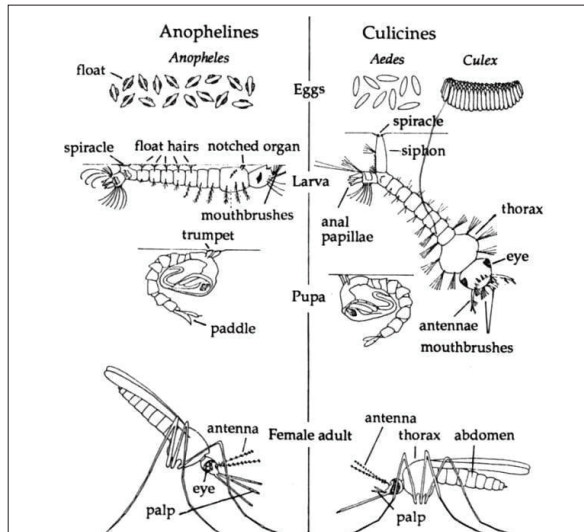
1. Biologi Nyamuk

Nyamuk termasuk dalam ordo Diptera (Lalat Sejati), dan dalam famili Culicidae. Ada 3 subfamili yaitu Anophelinae, Culicinae, dan Toxorhynchitinae (Snow, 1990). Nyamuk dari golongan Anophelinae dan Culicinae merupakan nyamuk yang mampu menyebarkan penyakit (Stone & Knight, 2007). Culicidae mempunyai sekitar 3.500 spesies yang dikelompokkan menjadi 42 genera dan 135 subgenera (Stone & Knight, 2007). Mereka ditemukan hampir di seluruh dunia, tetapi mayoritas ditemukan di daerah tropis dan subtropis. Iklim yang lebih hangat di daerah tropis memungkinkan mereka untuk aktif sepanjang tahun dengan kondisi ideal, yaitu panas dan lembap dengan curah hujan sedang. Keberadaan nyamuk sangat dipengaruhi oleh adanya curah hujan guna menentukan keberadaan tempat mereka berkembang biak. Di daerah beriklim panas mereka dapat menjadi lebih

aktif, dan curah hujan memberi mereka tempat di perairan untuk tahap larva dan kepompong (Gillett, 1971).

Perkembangbiakan nyamuk mengalami metamorfosis sempurna dalam siklus hidupnya, yang memiliki empat tahap perkembangan (telur, larva, pupa, dan dewasa) dan setiap tahap menghasilkan ekskuvia (Cranston et al., 1987). Siklus hidupnya dimulai dengan lectures/bertelur di permukaan air, baik secara tunggal (*Anopheles*, *Aedes*, *Orthopodomyia*, dan *Kuliseta*, yakni subgenus *Culicella*), atau secara berkelompok (*Culex*, *Uranataenia*, *Coquillettidia*, dan *Kuliseta* subgenus *Culicella*) (Snow, 1990). Perbedaan siklus hidup antara famili Anophelinae dan Culicinae diilustrasikan pada Gambar 5.2.

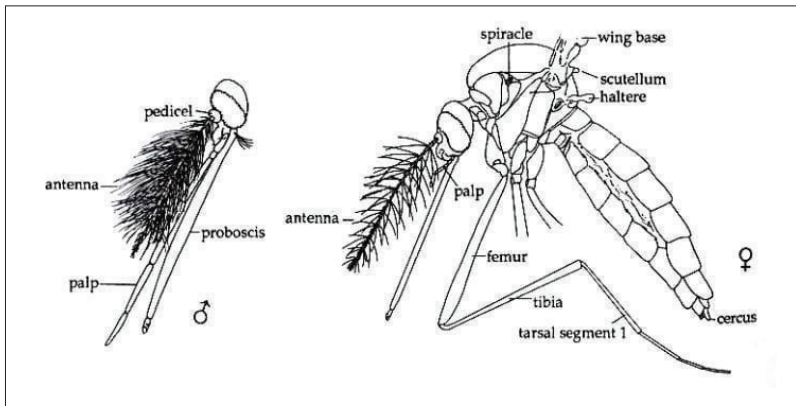
Beberapa nyamuk mampu bertelur di tanah yang lembap, seperti *Aedes* atau *Ochlerotatus*. Setelah telur menetas, mereka melewati empat instar larva. Perkembangan larva tergantung pada suhu, kepadatan populasi, dan ketersediaan makanan. Selama ini mereka memakan detritus, alga, dan biofilm. Larva dapat berkembang pada



Sumber: Snow (1990)

Gambar 5.2 Perbedaan Siklus Hidup *Anopheles* dan *Culicinae*

suhu lingkungan sekitar 28°C selama 10 hari, pada suhu air 30–40°C larva akan berkembang lebih cepat menjadi pupa dalam waktu 5–7 hari. Larva cenderung menyukai air yang bersih, namun dapat tetap hidup pada air yang keruh. Beberapa jentik nyamuk non-vektor juga dapat menjadi predator (Norris, 2004). Larva kemudian berkembang menjadi pupa yang memiliki bentuk bengkok, seperti udang dan kepalanya besar. Berbentuk seperti koma, gerakannya lambat, dan sering berada di permukaan air. Kemudian setelah 1–2 hari pupa



Sumber : Snow (1990)

Gambar 5.3 Ciri-Ciri dan Perbedaan Nyamuk Dewasa Jantan dan Betina

berubah menjadi nyamuk dewasa (Sonoto, 2009). Perbedaan nyamuk dewasa jantan dan betina dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Nyamuk dewasa memiliki perbedaan antara jantan dan betina di mana nyamuk jantan umumnya memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan nyamuk betina. Adapun nyamuk jantan juga memiliki rambut-rambut tebal pada antenanya dibandingkan dengan nyamuk betina. Kelebihan yang dimiliki nyamuk yakni mampu berkembang biak di berbagai lingkungan. Sebagian besar nyamuk bersifat generalis dan memilih berbagai tempat bertelur, sedangkan nyamuk lainnya bersifat spesialis dan memilih habitat unik untuk bertelur. Nyamuk

spesialis cenderung menghilang setelah terjadinya penggunaan perubahan lahan, seperti penggundulan hutan, sedangkan generalis mampu bertahan hidup di berbagai habitat (Rattanaarithikul, Harbach, et al., 2005). Ada beberapa jenis lokasi oviposisi nyamuk yang dapat dikategorikan menjadi 2, yaitu lokasi air tanah dan lokasi kontainer. Lokasi air tanah meliputi sungai, danau, kolam tanah, dan masih banyak lagi. Lokasi wadah meliputi wadah buatan (ban, botol, gelas, kendi) atau wadah alami (daun-daun berguguran, lubang pohon, tunggul pohon, ketiak tanaman). Selain itu, nyamuk dapat berkembang biak di air permanen, air semi permanen, atau kolam sementara (Rattanaarithikul, Harbach, et al., 2005).

Anopheles dan *Culicine* memiliki perbedaan siklus hidup. Perbedaan tersebut terlihat dari jentik nyamuk yang dikenali dari sikat mulutnya yang berkembang dengan baik, papila anal di segmen anal, dan adanya spirakel (*Anopheles*) atau pernafasan menyedot (sisa genus) di segmen perut mereka (Snow, 1990). Faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran larva antara lain medan, ketinggian, naungan, kondisi air (tawar, payau, tercemar), pergerakan air, suhu air, vegetasi air (misalnya alga), jenis sumber air, kelangngan air, dan kompetisi (invertebrata lain seperti Odonata) (Rattanaarithikul, Harbach, et al., 2005). Larva memerlukan waktu beberapa hari hingga beberapa minggu untuk berkembang, tergantung pada tingkat nutrisi, suhu, persaingan, dan kondisi air (Becker et al., 2010). Nyamuk jantan menetas lebih dulu daripada nyamuk betina karena nyamuk betina setelah dewasa memerlukan darah untuk mengalami kopulasi (Herawati, 2009).

Nyamuk dewasa memakan cairan dari bunga dan buah-buahan, namun nyamuk betina pada sebagian besar spesies memerlukan darah untuk mendapatkan nutrisi yang cukup untuk perkembangan dan pematangan telur, yang dikenal sebagai *anautogenous* (Clements, 1992). Nyamuk betina diketahui mempunyai perilaku oviposisi yang kompleks, yang sangat memengaruhi lokasi bertelur. Nyamuk betina mungkin dapat mendeteksi tingkat pemangsaan atau potensi

persaingan dari nyamuk lain di habitat perairan, yang memengaruhi tempat telur diletakkan (Williams et al., 2008). Setelah nyamuk betina bertelur, siklus tersebut berulang. Nyamuk termasuk serangga antropofag karena sebagian besar spesies betina memakan darah manusia. Nyamuk termasuk hama yang signifikan tidak hanya bagi manusia, namun juga hewan peliharaan, dengan dampak yang berpotensi fatal (Snow, 1990). Nyamuk juga tergolong serangga yang memiliki sifat spesifik dan adaptif tinggal bersama dengan manusia.

2. Nyamuk sebagai Vektor Penyakit di Indonesia

Nyamuk berpotensi sebagai pembawa masalah bagi ruang hidup karena nyamuk berperan dalam penyebaran berbagai macam penyakit. Vektor penyakit diartikan sebagai jenis serangga tertentu yang dapat menularkan penyakit kepada penderita baru. Di dalam tubuh vektor, patogen biasanya berkembang sampai jumlah dan tahap tertentu, di mana agen masuk ke dalam tubuh vektor sehingga membawa penyakit baru. Keberadaan nyamuk sebagai vektor kini menjadi perhatian dunia termasuk Indonesia (Purnomo & Rahman, 2011). Genera nyamuk yang penting secara medis adalah nyamuk *aedes*, *anopheles*, *culex*, *haemagogus*, *mansonia*, dan *sabeth* karena perilaku mereka menghisap darah pada manusia, sedangkan *psorophora* dan *coquilletti* mempunyai kepentingan medis yang lebih rendah. Nyamuk dapat menularkan banyak penyakit seperti malaria (protozoa), filariasis (nematoda), demam berdarah chikungunya, Japanese B-encephalitis, dan demam kuning (virus) (Becker et al., 2010). Penyakit ini banyak ditemukan di daerah tropis dan subtropis.

Penyakit yang ditularkan oleh nyamuk yang saat ini ada di Indonesia, antara lain malaria, demam berdarah, filariasis perkotaan, filariasis pedesaan, dan chikungunya (Yap et al., 1994; Lam et al., 2001; Benitez et al., 2009), dan penyebaran penyakit ini diperkirakan akan meningkat seiring dengan perubahan iklim (Benitez, 2009). Perubahan iklim akibat pemanasan global sangat memengaruhi biologi dari nyamuk sebagai vektor pembawa virus penyakit. Faktor musim menjadi faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan pe-

nyebaran nyamuk sehingga berpotensi menyebabkan wabah penyakit (Ismah et al.,2021).

Spesies nyamuk dalam genus *Aedes* tercatat sebanyak 100 spesies yang terdaftar dalam 27 subgenus (Nugroho et al., 2019). Seperti pada kasus DBD yang dibawa oleh spesies nyamuk *Aedes* sp. Dari data di seluruh dunia menunjukkan Asia menempati urutan pertama dalam jumlah penderita DBD setiap tahunnya. Terhitung sejak tahun 1968 hingga 2009, World Health Organization (WHO) mencatat negara Indonesia sebagai negara dengan kasus DBD tertinggi di Asia Tenggara (Kemenkes RI, 2018). Menurut data Kemenkes RI (2015) di Indonesia, pada tahun 2014 sampai pertengahan bulan Desember tercatat penderita demam berdarah di 34 provinsi di Indonesia sebanyak 71.668 orang, dan 641 di antaranya meninggal dunia. Penyakit ini ditemukan di Indonesia untuk pertama kalinya, yaitu di Kota Surabaya tahun 1968 (Tarigan et al., 2022).

Saat ini, pemerintah telah membuat strategi nasional dalam penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk. Salah satu strategi tersebut adalah dengan meningkatkan pengendalian vektor yang efektif, aman, dan berkelanjutan. Strategi ini bertujuan untuk meningkatkan pencegahan melalui pengendalian vektor yang efektif, aman, dan berkelanjutan, yang melibatkan partisipasi masyarakat dan menggunakan teknologi tepat guna yang spesifik untuk daerah setempat. Strategi ini dinilai lebih efektif dibandingkan penggunaan *fogging* yang sering kali tidak mengikuti prosedur sehingga dapat memicu resistansi vektor terhadap insektisida dan mengurangi efektivitasnya dalam mengendalikan infeksi lokal dan menangani kejadian darurat (Kemenkes RI, 2022).

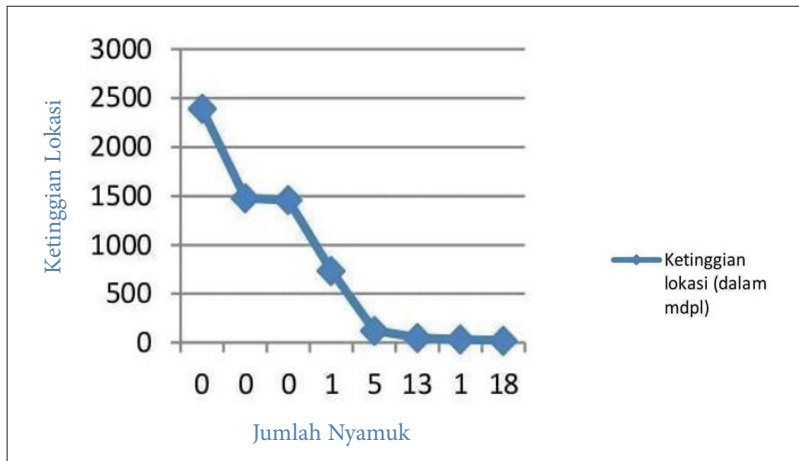
3. Perubahan Penggunaan Lahan dan Kelimpahan Nyamuk

Nyamuk bertanggung jawab atas penularan banyak patogen dan parasit yang penting secara medis seperti virus, bakteri, protozoa, dan nematoda yang menyebabkan penyakit serius, seperti malaria, demam berdarah, demam kuning, ensefalitis, atau filariasis (Kettle,

1995; Beaty & Marquardt, 1996; Lehane, 1991). Perubahan habitat yang dilakukan oleh manusia berpengaruh besar dalam mengubah keseimbangan ekologi tempat nyamuk berkembang biak, berkembang, dan menularkan penyakit (Patz et al., 2000; Norris, 2004). Perubahan penggunaan lahan meliputi penggundulan hutan, pembangunan pertanian, sistem pengendalian air (pengelolaan air), dan urbanisasi (Gratz 1999; Norris, 2004), yang dapat memengaruhi kelimpahan nyamuk, keanekaragaman hayati, perilaku menggigit manusia, dan kompetensi vektor (Patz et al., 2000). Dampak penggunaan lahan dan cuaca bersama-sama pada keberadaan dan kelimpahan nyamuk bersifat khusus spesies dan mungkin memiliki dampak yang berbeda pada suatu spesies yang mampu bertahan hidup yang berkaitan dengan (kemunculan) atau berkembang (kelimpahan) (Rakotoarinia et al., 2022). Selain itu, pemukiman manusia secara signifikan mengubah komposisi komunitas nyamuk di lanskap tropis, meningkatkan keberadaan, dan kelimpahan spesies antropofilik (Steiger, 2016).

Sistem pengendalian air seperti waduk, saluran irigasi, dan bendungan dapat menggeser populasi vektor nyamuk. Hal ini dapat menyediakan tempat perkembangbiakan vektor baru di mana air sebelumnya terbatas (misalnya saluran irigasi) atau dengan membendung air, yang berhubungan dengan prevalensi malaria yang lebih tinggi (Alemayehu et al., 1998). Di daerah perkotaan, pengelolaan limbah, limpasan air, sedimentasi, dan wadah buatan juga memberikan kontribusi sebagai tempat perkembangbiakan nyamuk (Norris, 2004). Wadah buatan, seperti ban, botol, ember, puntung air, gelas berpotensi menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk dalam jumlah besar dan harus disingkirkan untuk mengurangi wabah penyakit (Norris 2004; Rattanarithikul, Harbach, et al., 2005).

Ketinggian suatu wilayah menentukan suhu udara di sekitarnya. Makin tinggi suatu wilayah, akan makin sulit bagi nyamuk untuk bertahan hidup. Hal ini sesuai dengan diagram distribusi nyamuk yang telah dilakukan di daerah Sumatera Selatan oleh Anwar et al. (2014) mengenai distribusi nyamuk terhadap ketinggian suatu wilayah yang dijelaskan pada Gambar 5.4.



Sumber: Anwar et al. (2014)

Gambar 5.4 Distribusi Nyamuk *Aedes* sp. Berdasarkan Ketinggiannya di Sumatera Selatan

Pada ketinggian 1.458 m dpl, 1.477 m dpl, dan 2.392 m dpl, tidak ditemukan adanya nyamuk karena suhu di wilayah tersebut tidak dapat menunjang kehidupan nyamuk (Anwar et al., 2014). Nyamuk memiliki keterbatasan terbang pada lokasi-lokasi yang tinggi, hal ini juga perlu dipertimbangkan sebagai sebab tidak ditemukannya nyamuk pada lokasi yang tinggi (Anwar et al., 2014). Nyamuk memiliki keterbatasan terbang pada lokasi-lokasi yang tinggi (CDC, 2010), hal ini juga perlu dipertimbangkan sebagai sebab tidak ditemukannya nyamuk pada lokasi yang tinggi.

Dalam perkembangannya, telur, larva, dan pupa hidup di air, sedangkan dewasa hidup di udara (Hoedjo, 2003). Nyamuk berkembang biak dengan baik di tempat perkembangbiakannya, baik di dalam ruangan atau di luar ruangan. Di dalam ruangan seperti rumah, biasanya terdapat pada tangki air rumah tangga sedangkan di luar pada tanaman penampung air atau benda yang dapat berfungsi sebagai penampung air. Makin banyak tempat perindukan maka jumlah nyamuk akan makin banyak. Oleh sebab itu, tempat-tempat

yang memiliki potensi sebagai tempat perkembangbiakan atau tempat yang disukai oleh nyamuk perlu disingkirkan (Badrah & Hidayah, 2011).

4. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Keberadaan Nyamuk

Perubahan iklim menjadi perdebatan yang sangat hangat karena dampaknya yang signifikan terhadap berbagai bidang kehidupan, khususnya kesehatan. Dampak negatif atau risiko perubahan iklim terhadap kesehatan telah diidentifikasi sebagai tantangan global yang dapat mengancam kehidupan manusia. Perubahan iklim makro dan mikro dapat memengaruhi penyebaran penyakit menular, termasuk vektor nyamuk. Dampak perubahan iklim adalah perubahan curah hujan, kelembapan dan suhu. Peningkatan kelembapan dan curah hujan berbanding lurus dengan peningkatan kepadatan nyamuk, sedangkan suhu optimal untuk reproduksi nyamuk berada pada suhu 25–27°C (Epstein et al., 1998).

Faktor iklim memengaruhi risiko tertular penyakit yang ditularkan melalui vektor, seperti demam berdarah, chikungunya, malaria, leptospirosis, filariasis. Makin tinggi curah hujan maka makin luas pula penyebaran nyamuk yang menyebabkan peningkatan penyakit DBD. Kelembapan dan hujan merupakan faktor yang memengaruhi kehidupan nyamuk, namun curah hujan yang sedang juga meningkatkan lokasi perkembangbiakan dalam jangka waktu yang panjang, hal ini menyebabkan peningkatan populasi vektor (Raksanagara et al., 2015). Suhu erat kaitannya dengan siklus perkembangan nyamuk dan berpengaruh langsung terhadap perkembangan parasit di dalam tubuh vektor. Rata-rata suhu optimum untuk perkembangbiakan vektor adalah 25–27°C yang memerlukan waktu rata-rata 12 hari, pada suhu yang lebih tinggi dari suhu optimum (32–35°C), siklus hidup *Aedes* lebih pendek yaitu rata-rata 7 hari (Raksanagara et al., 2015). Sedangkan pada suhu ekstrim yaitu di bawah 10°C atau di atas 40°C nyamuk mati karena perkembangan nyamuk terhenti (Sari & Rahmi, 2017).

Selain itu, penggundulan hutan, operasional pabrik, konversi lahan untuk pertambangan dan perkebunan sangat berkontribusi dalam dalam memperparah pemanasan global. Perubahan lingkungan tersebut akan mengganggu habitat normal nyamuk, hal ini berpotensi terhadap peningkatan vektor penyakit oleh nyamuk. Terdapat beberapa jenis nyamuk yang dapat bertahan menghadapi perubahan iklim dan cuaca. Dengan daya tahan yang baik maka keberadaan nyamuk tersebut dapat menjadi ancaman tersendiri bagi wilayah yang pernah menjadi endemis DBD. Pemanfaatan lahan yang tidak terkendali juga dapat mempercepat perubahan dominasi vektor pembawa penyakit tular (Anwar et al., 2014).

Dampak tidak langsung perubahan iklim terhadap kesehatan manusia adalah melalui penyakit seperti malaria dan demam berdarah, yang disebarkan oleh serangga seperti nyamuk. Menurut data Kementerian Kesehatan (2022), perubahan lingkungan yang disebabkan oleh manusia merupakan salah satu penyebab terjadinya kejadian luar biasa (KLB) penyakit menular. Perubahan lingkungan juga bisa disebabkan oleh pemanasan global. Pemanasan global dikaitkan dengan peningkatan suhu, di mana pada tahun 2012 ditemukan 56 kali lebih hangat dibandingkan antara tahun 1951 dan 1980, dan tahun 2012 diperkirakan merupakan suhu terpanas dalam 10 tahun terakhir sejak tahun 1998. Perubahan iklim dapat memengaruhi perkembangan vektor penyakit melalui beberapa cara, yaitu faktor cuaca yang memengaruhi metabolisme nyamuk, pertumbuhan, perkembangan, dan populasi. Hujan yang berlangsung relatif lama juga memengaruhi lingkungan perkembangbiakan nyamuk. Curah hujan menjadi salah satu faktor penyebab kepadatan nyamuk, makin besar jumlah curah hujan maka berpotensi meningkatkan kepadatan nyamuk, sebaliknya saat jumlah curah hujan rendah maka kepadatan nyamuk makin menurun. Kehadiran hujan meningkatkan jumlah dan jenis genangan air yang sebelumnya hanya terdapat sedikit atau tidak ada air selama musim kemarau. Kondisi perairan ini merupakan habitat pilihan bagi perkembangan jentik nyamuk. Makin banyak

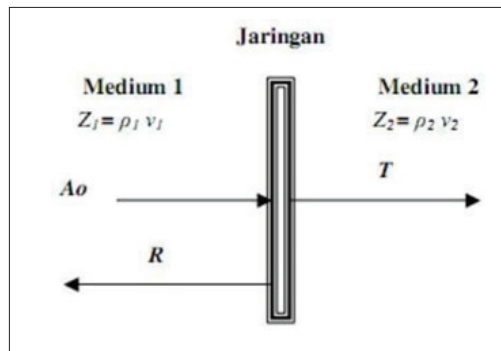
tempat bersarang maka nyamuk makin mudah bertelur sehingga kepadatan nyamuk makin tinggi. Hujan dan cuaca panas meningkatkan jumlah vektor nyamuk.

5. Gelombang Ultrasonik

Gelombang adalah getaran yang merambat dan frekuensi adalah banyaknya getaran per satuan detik. Gelombang terbagi menjadi dua, yaitu gelombang bunyi dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik (bunyi) terdiri atas gelombang bunyi dengan frekuensi 20 Hz sampai 20 KHz, gelombang ultrasonik dengan frekuensi di atas 20 KHz, dan gelombang infrasonik dengan frekuensi di bawah 20 Hz. Semua gelombang suara membutuhkan udara untuk merambat, sedangkan gelombang elektromagnetik terdiri dari gelombang radio, gelombang mikro, radiasi inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar X, dan sinar gamma yang tidak memerlukan udara untuk merambat. Sifat gelombang ultrasonik yang melewati medium mengakibatkan getaran partikel dengan amplitudo medium sejajar dengan arah geraknya, dengan partikel medium tersebut membentuk massa jenis (*Strain*) dan tegangan (*Stress*). Proses berkelanjutan yang menciptakan kepadatan dan ketegangan di lingkungan disebabkan oleh osilasi periodik partikel selama lewatnya gelombang ultrasonik (Resnick & Halliday, 1992).

Gelombang ultrasonik frekuensi tinggi mempunyai kemampuan penetrasi jaringan yang sangat kuat sehingga sering digunakan untuk diagnosis, penghancuran, dan pengobatan (Cameron & Skofrock, 1978). Gelombang ultrasonik merupakan gelombang bunyi dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang ini memerlukan media udara untuk merambat sehingga suhu udara, kelembapan, hambatan fisik (seperti kaca jendela dan pintu), serta hambatan nonfisik (seperti suara lainnya) dapat memengaruhi pergerakan gelombang ini. Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam keadaan padat, cair, dan gas. Hal ini karena gelombang tersebut merupakan perambatan energi mekanik dan momentum sedemikian rupa sehingga menyebar melalui interaksi dengan sifat energik molekul dan lingkungan yang dilalui gelombang tersebut (Bueche, 1986). Makin banyak interferensi yang diperoleh

maka makin sedikit gelombang ultrasonik yang diterima oleh objek yang diinginkan. Gelombang ultrasonik yang merambat di lingkungan menyebabkan perpindahan energi ke partikel lingkungan (Giancoli, 1998). Sifat gelombang ultrasonik dipantulkan, ditransmisikan, dan diserap oleh lingkungan atau jaringan. Ketika gelombang ultrasonik mengenai permukaan jaringan, sebagian gelombang ultrasonik ini dipantulkan dan sebagian lagi dipancarkan (ditransmisikan), seperti terlihat pada Gambar 5.5.



Keterangan:

A_o = amplitudo gelombang ultrasonik mula-mula (cm)

R = amplitudo gelombang ultrasonik yang dipantulkan (cm)

T = amplitudo gelombang ultrasonik yang ditransmisikan (cm)

Sumber: Cameron & Skofronick (1978)

Gambar 5.5 Gelombang ultrasonik datang secara normal pada bidang batas medium 1 dan medium 2.

Ketika intensitas gelombang ultrasonik mengenai permukaan jaringan, energi panas ditransfer sehingga menimbulkan efek termal pada jaringan. Intensitas rambat gelombang ultrasonik membawa energi ke permukaan per satuan waktu. Ketika energi gelombang ultrasonik melewati jaringan, ia melepaskan energi panas sehingga menyebabkan pemanasan, yang menyebabkan peningkatan suhu jaringan sehingga menyebabkan fenomena kavitasi (Giancoli, 1998). Hewan menggunakan suara atau gelombang suara untuk menerima informasi dan menemukan lokasi suatu objek, misalnya ikan lumba-

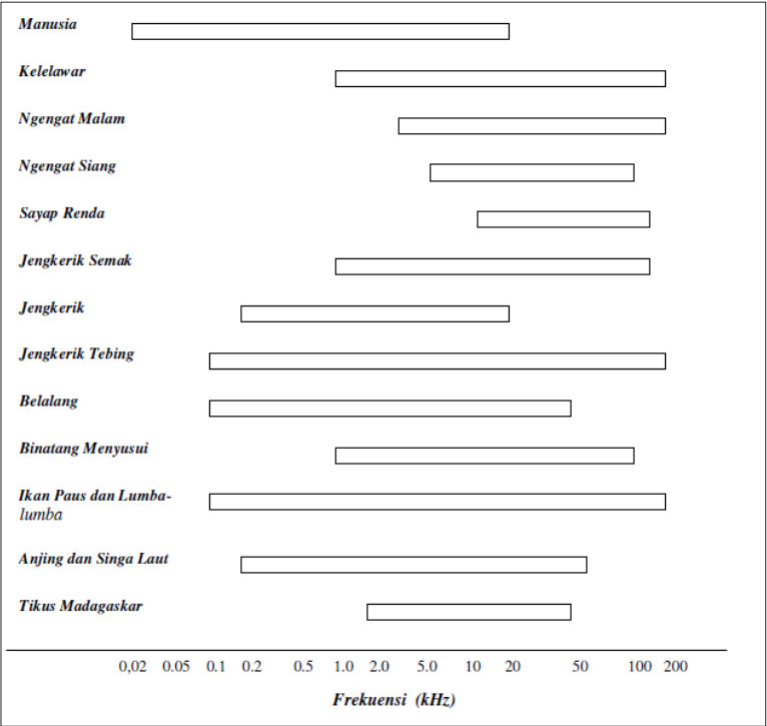
lumba, kelelawar, menggunakan gelombang bunyi untuk mengemudi dan menentukan lokasi makanan, ketika cahaya tidak cukup untuk pengamatan. Gelombang secara alami juga digunakan sebagai alat komunikasi antar spesies (Ackerman et al., 1988). Namun secara fisik, getaran suara harus berada pada rentang frekuensi terdengar. Pada frekuensi yang terlalu rendah, getaran dapat dirasakan oleh instrumen yang peka sehingga memerlukan persepsi amplitudo yang jauh lebih besar daripada kebutuhan pendengaran. Getaran frekuensi tinggi bisa tidak terasa karena energinya yang tinggi berpotensi menimbulkan rasa panas dan nyeri setempat (Sabbagha, 1980). Banyak hewan lain, seperti serangga, yang peka terhadap energi getaran di daerah frekuensi yang relatif tinggi, salah satunya adalah jangkrik. Namun, reseptor dan mekanisme yang berbeda dapat menimbulkan respons yang berbeda.

6. Gelombang Ultrasonik pada Jangkrik

Jangkrik merupakan serangga yang menggunakan bunyi (gelombang bunyi) sebagai alat komunikasi antar sesama jangkrik. Gelombang suara jangkrik mempunyai rentang frekuensi suara di atas frekuensi suara pendengaran manusia. Gelombang ini termasuk gelombang ultrasonik. Intensitas getaran pada gelombang ultrasonik akan berkurang bila suhu atau kelembapan di tempat tujuan cukup tinggi. Jangkauan transmisi sinyal gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh suhu, kelembapan, dan frekuensi sinyal itu sendiri. Jika suhu dan kelembapan konstan, ketika frekuensi makin tinggi sinyalnya, maka akan makin besar daya serapnya di udara. Suhu dan kelembapan menentukan tinggi rendahnya frekuensi, mengingat gelombang ultrasonik merupakan gelombang suara yang memerlukan udara sebagai media rambatnya (Wilson, 1972).

Jangkrik memiliki pita suara berupa pelat melengkung yang bergetar setelah diubah bentuk oleh otot-otot diafragma dan kembali ke bentuk semula sehingga pita suara menggandakan frekuensi kontraksi otot dan menghasilkan suara. Serangga membutuhkan telinga untuk menerima sinyal suara. Telinga serangga terdiri dari dua bagian, yaitu reseptor rambut yang melekat secara fleksibel dan dapat bergerak pada

setiap getaran suara, terutama untuk mengukur pergerakan, dan organ yang bergetar menggunakan membran untuk mencatat tekanan dan gradien tekanan. Ketika suara diterima dan kemudian diterjemahkan, serangga dapat menghasilkan berbagai respons untuk melindungi kelompoknya, termasuk ketertarikan seksual, pertahanan wilayah, sinyal bahaya, dan perubahan jalur terbang (Ackerman et al., 1988). Dari segi frekuensi, dibandingkan hewan, manusia memiliki rentang sensitivitas akustik yang lebih pendek dan batas frekuensi atas yang lebih rendah, yaitu 20 kHz. Transmisi suara pada frekuensi di atas 20 kHz ditunjukkan dengan ultrasonik (Purwanto & Fajar, 1986). Berikut adalah macam-macam frekuensi pendengaran bermacam-macam binatang (Gambar 5.6).



Sumber: Sales & Pye (1974)

Gambar 5.6 Ketergantungan Frekuensi Pendengaran Bermacam-macam Binatang

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa serangga khususnya jangkrik memiliki sensitivitas akustik pada rentang ultrasonik. Penggunaan sinyal serangga tersebut sebenarnya hanya dapat direkam oleh suatu rangkaian elektronik yang menggunakan sistem perangkat elektronik (Purwanto & Fajar, 1986). Gelombang ultrasonik jangkrik pada frekuensi 34 kHz memiliki pengaruh terhadap keberadaan nyamuk di mana waktu pemaparan gelombang ultrasonik membuat nyamuk berpindah posisi menjauhi sumber gelombang (Sakti, 2018).

7. Potensi Nyamuk Betina sebagai Vektor

Nyamuk dapat mendeteksi 3 hal penting sebagai kondisi yang disukainya, yaitu panas, warna (kegelapan), dan bau (betina: darah dan asam; jantan: nektar dan nutrisi) yang tinggi di pagi hari sehingga di beberapa tempat berpotensi terdapat nyamuk (Statman-Weil, 2001; Tauxe et al., 2013). Umur nyamuk menjadi lebih pendek apabila kelembapan udara menjadi rendah karena tubuh nyamuk akan mengalami penguapan yang tinggi pada kelembapan yang rendah (Ridha et al., 2018). Untuk menjaga keseimbangan air dalam tubuhnya, nyamuk perlu mendapatkan cairan dari makanan, hal ini menyebabkan nyamuk makan berulang kali. Selain itu, nyamuk juga lebih menyukai suasana hangat di mana suhu tubuh akan memengaruhi jumlah nyamuk yang hinggap. Peningkatan suhu udara dapat menjadi faktor peningkatan laju pertumbuhan nyamuk. Sebaliknya, suhu yang dingin dapat menghambat laju pertumbuhan nyamuk. Nyamuk dapat berkembangbiak pada suhu optimal yaitu 26°C, sedangkan kelembapan udara yang baik untuk perkembangan nyamuk berkisar antara 81,5–89,5% (Anggraini & Cahyati, 2017). Suhu pada malam hari yang cenderung lebih rendah mengakibatkan berkurangnya intensitas pergerakan nyamuk (Khansa & Dzulkiflih, 2022).

Setiap spesies memiliki rentang komunikasi (frekuensi) yang berbeda beda. Rentang frekuensi tersebut bisa menandakan migrasi, tanda bahaya, dan sebagainya. Sebagai contoh nyamuk adalah hewan

yang memiliki rentang gelombang audiosonik yaitu gelombang bunyi yang frekuensinya antara 20 Hz–20 KHz. Penelitian tentang nyamuk lebih difokuskan pada nyamuk betina karena yang menghisap darah manusia hanyalah nyamuk betina. Nyamuk betina menghisap darah karena untuk kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan telurnya, sedangkan jantan memakan nektar tanaman sepanjang hidupnya. Nyamuk sesungguhnya adalah serangga polinator seperti *Aedes communis* yang membantu penyerbukan anggrek *Plantanthera obtusata*. Nyamuk betina menjadi penghisap darah ketika setelah kawin dan sebelum kawin, betina juga memakan nektar sama seperti nyamuk jantan (Barredo & DeGennaro, 2020).

Nyamuk betina *Anopheles subpictus* memiliki frekuensi 330–385 Hz (Tischner & Schief, 1953); *Anopheles maculipennis* 165–247 Hz; *Culiseta alaskaensis* 175–233 Hz; *Culiseta morsitans* 196–220 Hz; *Culex pipiens* 165–196 Hz (Sotavalta, 1952); *Aedes aegypti* 355–415 Hz (Tischner & Schief, 1955); *Aedes cantans* 277–311 Hz; *Aedes punctor* 247–311 Hz (Sotavalta, 1952); *Aedes compestris* 331–332 Hz (Hocking, 1953); *Aedes communis* 213–230 Hz; *Aedes impiger* 305–380 Hz (Hocking, 1953). Frekuensi yang dihasilkan oleh nyamuk tersebut dapat memicu suatu sumber tegangan yang kemudian dapat memancarkan gelombang ultrasonik. Seperti yang telah dilakukan oleh Hartiyoko (2012) yaitu dengan merancang suatu alat pendeteksi dan pengusir nyamuk berbasis frekuensi. Apabila ada frekuensi nyamuk yang dideteksi, maka rangkaian yang dibuat akan mengaktifkan rangkaian transmitter dengan menghubungkan ke sumber tegangan. Sinyal yang diterima berupa suara yang ditangkap sebagai sensor ultrasonik yang kemudian diubah menjadi tegangan. Ketika sinyal yang dipancarkan kuat, maka akan memancarkan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik ini yang kemudian akan memberikan dampak pada respon nyamuk yakni pada kisaran frekuensi 20 kHz sampai 40 kHz. Berdasarkan hal tersebut, perlu dikembangkan suatu teknik pengendalian hama berbasis nyamuk dengan pemanfaatan gelombang ultrasonik yang lebih efektif dan efisien, salah satunya adalah biokontrol hama nyamuk dengan menggunakan Jangkrik (*Acheta domesticus*).

8. Potensi Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik Jangkrik sebagai Biokontrol Hama Nyamuk

Gelombang ultrasonik dapat memberikan dampak terhadap pengendalian nyamuk. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang telah dilakukan mulai dari yang sederhana hingga menggunakan rentang frekuensi (Mahoney, 2024). Jangkrik yang memiliki frekuensi antara 0,2 kHz dan 50 kHz berpotensi mengendalikan nyamuk. Pengaruh gelombang ultrasonik terhadap nyamuk adalah diduga terdapat respon antenna nyamuk yang menunjukkan adanya tekanan pada sistem saraf hingga cedera fisik dan kelelahan sehingga memungkinkan meningkatkan persentase jatuh dan kematian nyamuk (Tito, 2017). Hal ini sesuai dengan Penelitian Singh et al. (2016), bahwa rentang frekuensi 38–44 kHz dapat memengaruhi sensilla yang ada pada antenna nyamuk yang akan menimbulkan tekanan pada sistem saraf sehingga digunakan secara efektif sebagai pengendali hama nyamuk dan lalat. Selain itu, dalam penelitian Shahir (2010) juga menyatakan bahwa paparan gelombang ultrasonik terhadap lalat rumah dapat secara langsung menembus otak dan sistem syaraf yang menyebabkan rasa sakit, ketidaknyamanan, dan menimbulkan kegelisahan sehingga dapat bertindak juga tidak normal seperti panik, hingga berkelahi satu sama lain. Keberhasilan juga ditunjukkan di serangga lain dalam Penelitian Khan-Ahmadi et al. (2023), bahwa efek mematikan dan penolak kecoa Jerman, *Blattella germanica* (Blattodea: Blattellidae) pada rentang frekuensi gelombang ultrasonik (20–100) kHz.

Jangkrik merupakan serangga yang menghasilkan gelombang ultrasonik di mana gelombang bunyi yang mereka keluarkan digunakan untuk berkomunikasi dengan sesama jangkrik. Gelombang bunyi pada jangkrik mempunyai rentang frekuensi suara di atas frekuensi suara yang memengaruhi telinga manusia sebab frekuensinya di luar jangkauan pendengaran normal manusia. Jangkrik jantan yang ingin kawin akan mengeluarkan gelombang bunyi dengan frekuensi tinggi. Gelombang inilah yang kemudian memberikan dampak terhadap

nyamuk. Dampak gelombang ultrasonik jangkrik terhadap nyamuk dapat dibuktikan dengan pemasangan jangkrik yang telah dilakukan di lingkungan kampus Institut Pertanian Malang sehingga diperoleh data pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Jumlah Gigitan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Jangkrik di Lingkungan Kampus Institut Pertanian Malang (IPM)

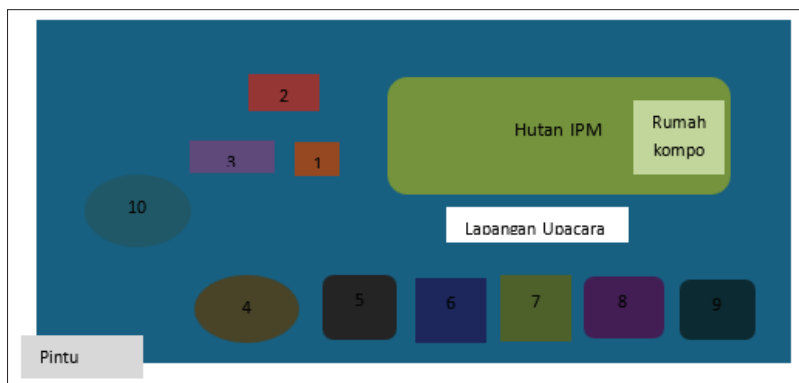
Lokasi	Jumlah Gigitan			
	Pagi		Sore	
	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
Gazebo	4	0	3	0
Rumah dari jamur	5	1	5	2
Laboratorium	2	1	3	0
Ruang Karyawan	3	1	2	0
Ruang Dosen	3	0	2	0
Ruang Rektor	4	2	3	1
Kelas	4	0	2	0
Mapalipma (Mahasiswa Pecinta Alam)	3	0	1	0
BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa)	4	0	1	0
Area parkir	5	0	3	0

Sumber: Tito (2017)

Data pada tabel 5.1 menunjukkan efektivitas penggunaan jangkrik pada pagi hari mencapai 60% dan sore hari mencapai 80% sehingga pemanfaatan jangkrik sebagai pengendali nyamuk terbukti cukup efektif (Tito, 2017). Pada kondisi alami, jangkrik aktif di malam hari (*nocturnal*). Pada penelitian ini, dilakukan kondisi buatan yang merangsang jangkrik jantan berbunyi, yaitu menyiapkan lawan jenis (jangkrik betina) di kandang yang berbeda. Hal ini sesuai dengan Fuah et al. (2016) yang menyatakan bahwa bunyi yang dihasilkan

jangkrik jantan tidak hanya digunakan untuk berkumpul, agresivitas, dan tujuan sosial yang lain, tetapi juga untuk menarik lawan jenis. Jangkrik kemudian menghasilkan signal sebagai tanda kesiapan untuk kawin.

Angka kejadian gigitan nyamuk juga dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan udara berbeda sehingga jumlah kejadian gigitan nyamuk pada pagi, siang, dan sore hari juga berbeda. Pengaruh luar ruangan seperti suhu dan kelembapan dianggap konstan, artinya suhu awal dan akhir sama dengan skala lapangan sehingga faktor yang paling menentukan adalah gelombang ultrasonik itu sendiri. Adapun pengambilan sampel acak berdasar area atau wilayah (*Cluster*



Keterangan :

- 1) Gazebo (peletakan jangkrik)
- 2) Rumah Jamur
- 3) Laboratorium
- 4) Ruang Karyawan
- 5) Ruang Dosen
- 6) Ruang Rektor
- 7) Kelas
- 8) Mapalipma
- 9) Bem
- 10) Area Parkir

Gambar 5.7 Gambar Peta Titik Sampel Penelitian

Random Sampling) dengan variasi wilayah dan sampel 5 orang pada tiap wilayah sehingga total membutuhkan 100 responden.

Pada Gambar 5.7 dapat diketahui tempat pengambilan sampel di kampus Institut Pertanian Malang (IPM). Terdapat 10 tempat yang menjadi lokasi pengambilan sampel di wilayah kampus Institut Pertanian Malang. Pada 10 titik lokasi tersebut merupakan tempat yang banyak dilalui oleh banyak orang yang beraktivitas sehingga dapat diambil sebagai responden yang mengalami gigitan. Pada tiap titik atau wilayah, terdapat 5 orang responden dan didapatkan hasil rata-rata gigitan nyamuk pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Jumlah Rata-Rata Gigitan Nyamuk

Lokasi	Pagi-Sebelum	Pagi-Sesudah	Sore-Sebelum	Sore-Sesudah
Gazebo	0.8 ± 0.45	0 ± 0	0.6 ± 0.55	0 ± 0
Rumah jamur	1 ± 0	0.2 ± 0.45	1 ± 0	0.4 ± 0.55
Laboratorium	0.4 ± 0.55	0.2 ± 0.45	0.6 ± 0.55	0 ± 0
Ruang Karyawan	0.6 ± 0.55	0.2 ± 0.45	0.4 ± 0.55	0 ± 0
Ruang Dosen	0.6 ± 0.55	0 ± 0	0.4 ± 0.55	0 ± 0
Ruang Rektor	0.8 ± 0.45	0.4 ± 0.55	0.6 ± 0.55	0.2 ± 0.45
Kelas	0.8 ± 0.45	0 ± 0	0.4 ± 0.55	0 ± 0
Mapalipma (Mahasiswa Pecinta Alam)	0.6 ± 0.55	0 ± 0	0.2 ± 0.45	0 ± 0
BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa)	0.8 ± 0.45	0 ± 0	0.2 ± 0.45	0 ± 0
Area parkir	1 ± 0	0 ± 0	0.6 ± 0.55	0 ± 0

Keterangan: Rata-rata jumlah gigitan sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik di setiap lokasi sampel di lingkungan kampus Institut Pertanian Malang (IPM) ketika pagi dan sore hari.

Sumber: Tito (2017)

Tabel 5.2 di atas menunjukkan rata-rata jumlah gigitan nyamuk sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik pada tiap lokasi yang dijadikan sampel. Terlihat bahwa terjadi perubahan angka gigitan nyamuk pada pagi dan sore hari setelah dilakukan pemasangan jangkrik. Adapun rata-rata gigitan nyamuk pada pagi dan sore hari dengan sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik menunjukkan adanya perbedaan jumlah gigitan melalui uji dua populasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Uji Mean Dua Populasi

	MB	MA		
Mean	3,7	0,5	MB	Morning-Before
SD	0,948683	0,707107	MA	Morning-After
	EB	EA		
Mean	2,5	0,3	EB	Evening-Before
SD	1,178511	0,674949	EA	Evening-After

Keterangan: Rata-rata jumlah gigitan sebelum dan sesudah pemasangan jangkrik di lingkungan kampus Institut Pertanian Malang (IPM) ketika pagi dan sore hari

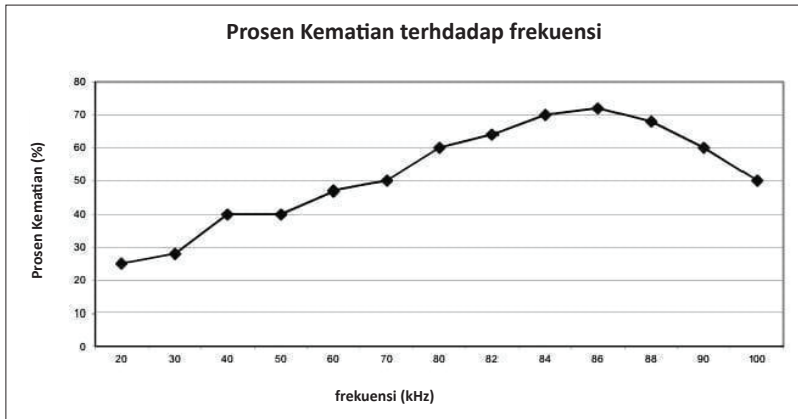
Sumber: Tito (2017)

Hasil menunjukkan adanya perbedaan gigitan setelah pengaplikasian. Pengaruh gigitan pada pagi hari menunjukkan perbedaan antara sebelum dan sesudah melakukan pemasangan jangkrik. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis data, didapatkan nilai $p\text{-value} < 0.05$ yang berarti hasilnya berbeda nyata antara sebelum dan sesudah pemasangan. Adapun di beberapa tempat, seperti rumah jamur, laboratorium, ruang pegawai, dan ruang rektor, diperkirakan masih mempunyai angka kejadian gigitan nyamuk karena gradien suhu dan kelembapan udara di tempat tersebut. Seperti pada gazebo dan parkir yang lokasinya berada di luar sehingga pengaruh suhu dan kelembapannya konstan, di mana suhu awal dan akhir sama.

Wilson (1972) menyatakan bahwa intensitas getaran pada gelombang ultrasonik akan berkurang bila suhu atau kelembapan udara di tempat tersebut cukup tinggi. Jangkauan transmisi sinyal gelombang ultrasonik tergantung pada suhu, kelembapan, dan frekuensi sinyal itu sendiri. Apabila suhu dan kelembapan konstan maka makin tinggi frekuensi sinyalnya dan makin besar daya serapnya di udara. Suhu dan kelembapan memengaruhi tinggi rendahnya frekuensi yang dihasilkan oleh jangkrik karena gelombang ultrasonik merupakan gelombang suara yang memerlukan udara sebagai media rambatnya. Kelembapan yang tinggi juga dapat mempercepat penguapan di tubuh nyamuk sehingga air dalam tubuh nyamuk cepat berkurang. Nyamuk betina menjaga keseimbangan air dalam tubuhnya dengan mengisi ulang cairan dalam tubuhnya dengan cara makan, yaitu menghisap darah manusia. Tidak hanya itu, nyamuk juga menyukai suasana hangat sehingga suhu tubuh juga akan memengaruhi jumlah nyamuk yang hinggap dan menggigit pada tubuh manusia (Ellwanger et al., 2021).

Di samping hal tersebut, telah dilakukan pula penelitian terhadap dosis optimal paparan gelombang ultrasonik untuk membunuh jentik nyamuk menggunakan transduser ultrasonik, yaitu pembangkit yang mengubah energi listrik menjadi energi akustik. Untuk menentukan frekuensi optimal paparan gelombang ultrasonik, maka dilakukan variasi frekuensi antara 20–100 kHz (Mansyur et al., 2009) (Gambar 5.8).

Berdasarkan hasil data tersebut, frekuensi optimal yang menunjukkan kematian nyamuk tertinggi adalah 86 kHz dengan angka kematian sebesar 72%. Kondisi tersebut dicapai dengan paparan gelombang ultrasonik dengan daya 50 W, volume 50 ml, dan waktu pemaparan 1 jam. gelombang yang ditimbulkan oleh jangkrik. Makin dekat dengan sumber gelombang ultrasonik, makin besar intensitas dan energi gelombang ultrasonik tersebut. Berdasarkan teori, gelombang ultrasonik yang dipancarkan jangkrik menyebar ke segala arah (Heagen, 1978). Gelombang ultrasonik yang merambat ke luar memiliki energi yang didistribusikan ke seluruh permukaan. Perambatan energi ini meluas dan menyebar seiring dengan perambatannya



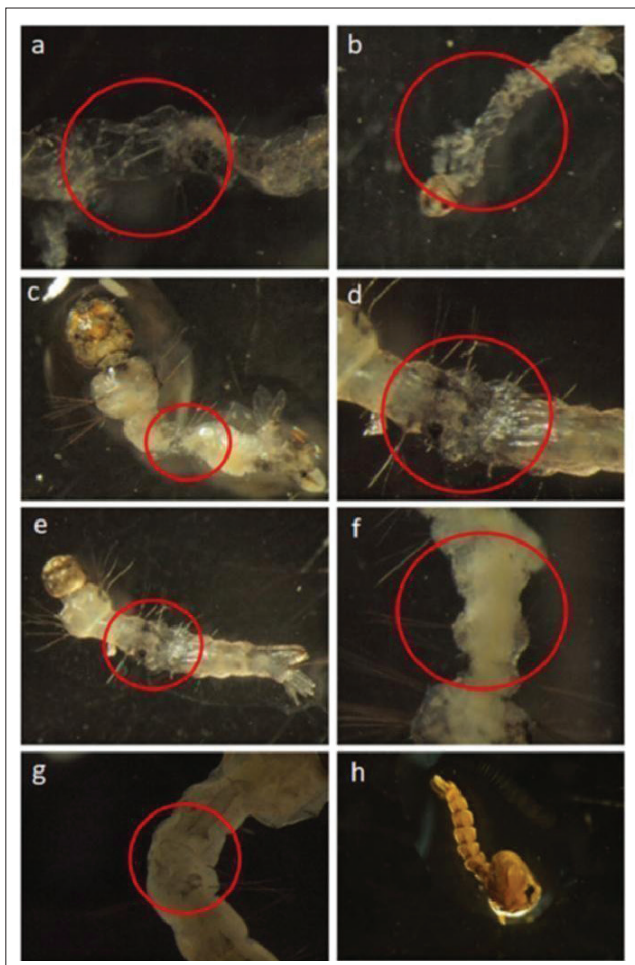
Sumber: Mansyur et al. (2009)

Gambar 5.8 Grafik Hubungan Persen Kematian terhadap Frekuensi Gelombang Ultrasonik

secara tiga dimensi sehingga luas rambat gelombang ultrasonik adalah luas bola, yaitu $4\pi r^2$ ("r" adalah jari-jari bola). Jika daya gelombang ultrasonik (P) konstan, intensitasnya berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber. Hal ini sesuai dengan rumus $I = P/4\pi r^2$. Misalnya kita mengambil dua titik pada jarak r_1 dan r_2 dari sumber pembangkit frekuensi gelombang, maka $I_1 = P/4\pi r_1^2$ dan $I_2 = P/4\pi r_2^2$ sehingga jarak digandakan misalnya ($= 2$) maka intensitasnya berubah sebesar $\frac{1}{4}$ dari nilai awal ($= \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$) (Tito, 2011). Hal ini juga terjadi ketika amplitudo gelombang ultrasonik berkurang seiring dengan bertambahnya jarak, amplitudo gelombang ultrasonik berkurang sebesar $1/r$, karena intensitas sebanding dengan amplitudo, sebanding dengan kebalikan dari kuadrat jarak, hal ini sesuai dengan persamaan $A = I/r$. Jika jarak gelombang ultrasonik dua kali lebih jauh dari sumbernya, amplitudonya menjadi setengahnya (Giancoli, 1998). Oleh karena itu, makin dekat sumber gelombang ultrasonik dengan sasarannya, yaitu nyamuk maka makin tinggi intensitas dan energi gelombang ultrasonik jangkrik yang diterima nyamuk.

Alat-alat yang menghasilkan gelombang ultrasonik juga telah banyak dirancang dan dibuat, seperti perangkat berbasis ultrasonik yang telah diuji dalam sejumlah upaya pengendalian hama yang terus dikembangkan. Alat Larvasonik Akustik yang berguna sebagai pengendali instar nyamuk. Hasil dari penggunaan alat ini adalah instar larva lebih sensitif terhadap rentang frekuensi 18–30 kHz (Kalimuthu et al., 2020). Gelombang ultrasonik yang diterapkan selama 180 detik pada frekuensi 18 kHz hingga 30 kHz menyebabkan 100% kematian larva pada jarak 60 cm dari transduser. Hal ini juga diperkuat dalam penelitian Ozkurt (2021) bahwa gelombang ultrasonik dengan frekuensi 28.80 kHz dapat membunuh larva nyamuk *Culex pipiens* di semua instar (1–4) antara 70 hingga 100%, sedangkan kematian tertinggi sebesar 96.67% hingga 100% dimiliki oleh larva instar 1, yaitu larva dengan ukuran paling kecil. Lebih lanjut, gelombang ultrasonik pada rentang frekuensi 20–70 kHz efektif dalam mengusir imago nyamuk (Foster & Lutes, 1985).

Dari sudut pandang mekanistik pada tingkat sel, gelombang ultrasonik dapat menyebabkan penggumpalan membran, penyusutan sel, dan fragmentasi apoptosis tubuh sehingga membuat lubang pada jaringan. Jentik nyamuk terbunuh jika lubang pada jaringannya terlalu besar atau ketika jaringan tidak dapat menutup kembali dengan cepat. Gelombang suara yang diuji beresonansi pada frekuensi volume udara internal jentik nyamuk menyebabkan tubuh jentik dapat meledak. Hasilnya, 98% larva dan pupa mati, sedangkan 2% sisanya hidup dengan deformasi morfologi yang membuat mereka kemudian mati dalam kurun waktu yang singkat. Getaran akibat gelombang suara menyebabkan terbentuknya vesikel gas yang kemudian beresonansi di dalam dan di antara sel yang menyebabkan pecahnya gelembung sehingga berdampak pada kerusakan sel (Rajasekhar et al., 2012). Dokumentasi pengaruh gelombang ultrasonik kepada larva dan pupa nyamuk *M. formosanus* telah dilakukan. Lingkaran merah menampakkan implikasi gelombang ultrasonik dapat merusak batang trakea larva nyamuk pada spesies ini (Gambar 5.9).



Sumber: Kalimuthu et al. (2020)

Gambar 5.9 Kepekaan Larva dan Pupa Nyamuk

Kematian larva nyamuk yang disebabkan oleh alat Larvasonik kemungkinan besar disebabkan oleh gelombang ultrasonik yang ditransmisikan ke dalam air dengan frekuensi tinggi, menyebabkan pecahnya batang trakea dorsal pada instar sehingga mengakibatkan kerusakan jaringan dan kematian (Kalimuthu et al., 2020). Alat serupa yaitu Perseus, adalah perangkat penghasil suara ultrasonik yang dikembangkan sebagai alat fisik untuk mengendalikan nyamuk sebelum tahap dewasa. Pada percobaan dengan menggunakan alat tersebut menghasilkan bahwa alat ini dapat membunuh larva dan pupa secara tuntas dengan tingkat kematian rata-rata 100%. Hal ini terjadi karena larva nyamuk mempunyai organ dalam berupa kantung udara kecil yang apabila terpapar oleh pancaran gelombang ultrasonik yang dihasilkan dari alat tersebut membuat trauma pada jaringan sehingga menyebabkan udara bermigrasi dari dada nyamuk menuju perut yang kemudian menyebabkan kematian pada larva nyamuk (Tawatsin et al., 2019).

Salah satu alat pengendali nyamuk yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dan sudah dipatenkan adalah alat Transduser Akustik. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memberi energi pada transduser akustik sehingga menimbulkan frekuensi resonansi, di mana frekuensi resonansi tersebut beresonansi dengan kantung udara jentik nyamuk yang menimbulkan trauma pada jaringan di sekitarnya sehingga mengakibatkan kematian pada jentik nyamuk (Neyberg et al., 2001). Semua alat-alat yang telah dirancang memiliki prinsip yang sama, yaitu dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik sebagai penyebab kematian pada larva nyamuk. Apabila alat-alat tersebut terus dikembangkan dan dikenalkan pada masyarakat luas tentunya akan memberikan dampak yang positif bagi pengendalian vektor nyamuk. Sayangnya alat tersebut saat ini masih jarang ada pada masyarakat sekitar sehingga pemanfaatan gelombang ultrasonik jangkrik sebagai upaya pengendali vektor nyamuk dapat menjadi alternatif yang tepat untuk terus dikembangkan. Jangkrik sebagai penghasil gelombang ultrasonik secara alami dapat membantu pengendalian nyamuk sebagai vektor penyakit.

Beberapa contoh tersebut memperkuat bahwa jangkrik sebagai penghasil gelombang ultrasonik alami dengan rentang frekuensi antara 0,2 kHz dan 50 kHz berpotensi dalam mengendalikan hama nyamuk. Tidak hanya nyamuk, tetapi gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik juga berpotensi membunuh jentik nyamuk sebagai cikal bakal nyamuk pembawa vektor penyakit. Hal ini dapat terjadi karena efek-efek yang ditimbulkan oleh gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan dapat memusnahkan larva dan pupa karena rusaknya jaringan pada larva dan pupa akibat paparan gelombang ultrasonik (Tawatsin et al., 2019).

Hasil penelitian tentang mekanisme lama paparan gelombang ultrasonik terhadap jaringan hidup telah dibuktikan beberapa percobaan, perlakuan ultrasonik yang diberikan pada *Escherichia coli* dan *Azotobacter venelandi* dengan gelombang suara di dalam sebuah *Raytheon Magnetostrictive Oscillator* 10 kHz dalam waktu 10 menit dengan suhu 4°C dengan pH 6,6 dan melaporkan adanya kerusakan sel pada bakteri tersebut (Sutiono, 1982). Umumnya gelombang ultrasonik untuk tujuan sterilisasi adalah membunuh bakteri yang tidak diinginkan, digunakan frekuensi 20 kHz sampai 1 MHz dengan lama paparan 30 menit (Oesman, 1988). Kecepatan gelombang ultrasonik di udara rata-rata sekitar 1.540 m/s, sedangkan di air rata-rata sebesar 1.480 m/s (Ackerman et al., 1988) dan efek mekanik ini terjadi pada semua tingkatan intensitas. Hal ini disebut konsep fisikomorfofiseluler, 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). Ultrasonik merupakan salah satu alternatif dalam pasteurisasi di mana terjadi pembentukan gelembung kavitasi yang dianggap berasal dari proses termal, efek termal inilah yang kemudian memberikan efek pada mikroba (Cameron, 2007).

Dalam biofisika, efek yang ditimbulkan oleh paparan ultrasonik, antara lain efek termal (panas), efek kavitasi (pembentukan gelembung

dalam sel), dan efek mekanis (tekanan). Untuk ketiga efek tersebut, kita harus memperhatikan fenomena kavitasi, di mana efek kavitasi merupakan proses penguapan cairan karena tekanannya turun di bawah tekanan penguapan. Pada instalasi aliran fluida, kavitasi dapat terjadi apabila terdapat penyempitan saluran misalnya terdapat *orifice* atau katup. Kavitasi ditandai dengan terbentuknya gelembung. Gas dalam gelembung mikro dapat mengembang ketika gelombang ultrasonik tinggi melewatinya sehingga menyebabkan dispersi gas yang tidak seimbang. Jaringan lunak spesies ini merupakan zat cair yang dapat menyebabkan kavitasi bila terkena gelombang ultrasonik intensitas tinggi. Paparan gelombang ultrasonik menimbulkan dua jenis kavitasi, yaitu kavitasi stabil dan kavitasi tidak stabil. Efek kavitasi yang stabil terjadi ketika gelembung mikrogas tumbuh hingga ukuran tertentu dan kemudian beresonansi dengan frekuensi gelombang ultrasonik. Amplitudo osilasi jauh lebih besar dibandingkan amplitudo osilasi partikel cair sebelum terjadinya gelembung mikrogas. Jaringan di sekitar gelembung mikrogas tersebut mengalami stres yang sangat besar sehingga mengakibatkan kerusakan molekul dan membran sel (Sabbagha, 1980).

Efek kavitasi yang tidak stabil merusak lebih banyak jaringan seluler. Pada tekanan rendah, gelombang ultrasonik intensitas tinggi menyebabkan terbentuknya gelembung kavitasi. Tekanan tinggi menyebabkan gelembung pecah, menghasilkan energi seperti kejutan yang merusak jaringan sel. Batas frekuensi kavitasi manusia dapat terjadi pada frekuensi di atas 40 kHz. Sementara itu, frekuensi ultrasonik yang biasa dijual di pasaran berada di bawah 40 kHz sehingga manusia tidak terpengaruh oleh efek kavitasi akibat gelombang ultrasonik yang dihasilkan. Banyak kelebihan yang diperoleh dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yaitu tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, tidak mengeluarkan bunyi yang dapat membisingkan telinga manusia karena frekuensinya melebihi jangkauan pendengaran normal dan tidak pula mengganggu binatang non-vektor.

C. Penutup

Gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh jangkrik berpotensi dimanfaatkan untuk tujuan pengendalian vektor nyamuk. Potensi ini ditunjukkan dari beberapa penelitian yang ada, di mana gelombang ultrasonik jangkrik sebagai biokontrol mampu mengurangi angka gigitan nyamuk. Jangkrik sebagai penghasil gelombang ultrasonik bergantung pada berbagai macam faktor seperti suhu, kelembapan, dan media rambatnya. Kecepatan gelombang ultrasonik di air juga jauh lebih cepat dibandingkan di udara sehingga efektifitasnya lebih tinggi terhadap target. Melalui pemanfaatan gelombang ultrasonik sebagai kontrol nyamuk, diharapkan dapat menekan penyakit vektor nyamuk di semua siklus hidupnya. Potensi ini tentu menawarkan solusi yang perlu dipertimbangkan dan dievaluasi kembali guna keberlanjutan teknik pengendalian yang lebih baik lagi. Diperlukan penelitian lanjutan serta cakupan penelitian yang lebih luas, dan desain penelitian yang lebih ketat, untuk membuktikan potensi pemanfaatan gelombang ultrasonik pada jangkrik ini. Hal tersebut diharapkan dapat memberikan alternatif metode pengendalian vektor nyamuk yang dapat membantu dalam pencegahan penyakit tular vektor.

Referensi

- Ackerman, E., Lynda B. M. Ellis, & Lawrence E. W. (1988). *Ilmu biofisika* (Redjani, & Abdulbasir, Penerj.). Airlangga University Press. 256–375.
- Alemayehu, T., Ye-eby, Y., Ghabreyesus, T. A., Witten, K. H., Bosman, A., & Teklehaimanot. (1998). Malaria, schistosomiasis, and intestinal helminthes in relation to microdams in Tigray: Northern Ethiopia. *Parasitologi*, 40, 259–267. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10376281/>
- Anggraini, T., S., & Cahyati, W., H. (2017). Perkembangan aedes aegypti pada berbagai ph air dan salinitas air. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 1(3), 1–10. <https://journal.unnes.ac.id/sju/higeia/article/view/15165>
- Anwar, C., Luvita, R. A., & Handayani, D. (2014). Identifikasi dan distribusi nyamuk aedes sp. sebagai vektor penyakit demam berdarah dengue di beberapa daerah di Sumatera Selatan. *Majalah Kedokteran Sriwijaya*, 46(2), 111–117. <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/mks/article/view/2691>

- Badrah, S., & Hidayah, N. (2011). Hubungan antara tempat perindukan nyamuk *aedes aegypti* dengan kasus demam berdarah dengue di Kelurahan Panajam Kecamatan Panajam Kabupaten Panajam Paser Utara. *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*, 1(2), 150–157. <https://doaj.org/article/c7250eba8bd64e609fe4319abfce2acc>
- Barredo, E., & DeGennaro, M. (2020). Not just from blood: Mosquito nutrient acquisition from nectar sources. *Trends in Parasitology*, 36(5), 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.02.003>
- Becker, N., Petrick, D., Zgomba, M., Boase, C., & Kaiser, A. (2010). *Nyamuk dan pengendaliannya*. Springer.
- Benitez, M. A. (2009). *Climate change could affect mosquito-borne diseases in Asia*. Lanset.
- Beaty, B. J., & Marquardt, W. C. (Ed.). (1996). *The biology of disease vectors*. University Press of Colorado. 51–72.
- Bueche, R. J. (1986). *Introduction to physics for scientists and engineers*. Mc Graw-Hill. 50–56.
- Cameron, J. R., & Skofronick J. G. (1978). *Medical physics*. John Wiley & Sons Inc. 253–287.
- Cameron, M. (2007). *Impact of low- frequency high- power ultrasound on spoilage and potentially pathogenic dairy microbes*. University of Stellenbosch.
- Center for Disease Control and Prevention (CDC). (2010). *Dengue and the aedes albopictus mosquito*. https://health.hawaii.gov/docd/files/2015/11/CDC_albopictus_factsheet.pdf
- Christopers, S. R. (1960). *Aedes aegypti (L), the Yellow Fever Mosquito: Its Life History. Bionomics and Structure*. Cambridge University Press.
- Clements, A. N. (1992). *The Biology of Mosquitoes*. Chapman & Hall.
- Cranston, P. S., Ramsdale, C. D., Snow, K. R., & White, G. B. (1987). *Adults, larvae and pupae of british mosquitoes (culicidae)*. Freshwater Biological Association
- Dorville, L. F. (1996). Mosquitoes as Bioindicators of Forest Degradation in Southeastern Brazil: A Statistical Evaluation of Published Data in the Literature. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 31(2), 68–78. <https://doi.org/10.1076/snfe.31.2.68.13331>
- Ellwanger, J., H., Cardoso, J., C., Chies., JA., B. (2021). Variability in human attractiveness mosquitoes. *Current Research in Parasitology & Vector-Borne Diseases*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.crpvbd.2021.100058>

- Epstein, P. R., Diaz, H. R., Elias, S., Grabherr, G., Graham, N. E., Martens, W. J., Thompson, E. M., & Susskind, J. (1998). Biological and physical signs of climate change: Focused on mosquito-borne diseases. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(3), 409–417. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0409:BAPSOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0409:BAPSOC>2.0.CO;2)
- Foster, W. A., & Lutes, K. L. (1985). Tests of ultrasonic emissions on mosquito attraction to hosts in a flight chamber. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.51>
- Fuah, A. M., Siregar, H. C. H., Endrawati, Y. C., Astuti, D. A., Khotijah, L., Winarno, & Sunyoto, A. (2016). *Cricket farming in Indonesia: Challenge and opportunity*. Lambert Academic Publishing.
- Giancoli, D. C. (1998). *Fisika* (Yuhilsa H., Penerj.). Penerbit Erlangga. 407–444.
- Gillett, J. D. (1971). *Mosquitos*. Richard Clay Ltd.
- Gratz, G. N. (1999). Emerging and resurging vector-borne diseases. *Annual Review of Entomology*, 44, 51–57. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.51>
- Hartiyoko, W. (2012). *Rancang bangun alat pendeteksi dan pengusir nyamuk berbasis frekuensi*. Universitas Indonesia.
- Harviyanto, I. Z., & Windraswara, R. (2017). Lingkungan tempat perindukan nyamuk *Culex quinquefasciatus* di sekitar rumah penderita filariasis. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 1(2), 131–140. <https://journal.unnes.ac.id/sju/higeia/article/view/14148>
- Heagen. (1978). *Text book of diagnostic ultrasonography*. Mosby Company.
- Hendrayanti, N., & Bachtiar, A. (2008). *Analisis manajemen kegiatan pemberantasan sarang nyamuk demam berdarah dengue (psn dbd) dengan metode combi (communication for behavior impact) di Pekanbaru Studi Kasus Dikelurahan Sidomulyo Timur Tahun 2008* [Skripsi]. Universitas Indonesia. <https://lontar.ui.ac.id/detail?id=124144&lokasi=lokal>
- Herawati, R. (2009). *Ekstraksi Daun Sirih (Piper Batle L.) sebagai Insektisida Nabati untuk Membasmi Larva Nyamuk Aedes Aegypti* [Skripsi]. Universitas Atmajaya Yogyakarta. <http://e-journal.uajy.ac.id/id/eprint/2147>
- Hocking, B. (1953). *The Intrinsic Range and Speed of Flight of Insect*. Trans. Royal Entomological Society.
- Hoedjo, R. (2003). *Parasitologi kedokteran*. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.

- Ismah, Z., Purnama, T. B., Wulandari, D. R., Sazkiah, E. R., & Ashar, Y. K. (2021). Faktor risiko demam berdarah di negara tropis. *ASPIRATOR- Journal of Vector-borne Disease Studies*, 13(2), 147–158. <https://doi.org/10.22435/asp.v13i2.4629>
- Kalimuthu, K., Tseng, L. C., Murugan, K., Panneerselvam, C., Aziz, A. T., Benelli G., & Hwang, J. S. (2020). Ultrasonic technology applied against mosquito larvae. *Journal Applied Sciences*, 10(10), 3546. <https://doi.org/10.3390/app10103546>
- Kettle, D. S. (1995). *Medical and veterinary entomology*. CAB International.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2007). *Ekologi dan aspek perilaku vektor*. Direktorat Jenderal PP dan PL Jakarta.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2015). *Demam berdarah biasanya mulai meningkat di januari*. <https://www.kemkes.go.id/id/rilis-kesehatan/demam-berdarah-biasanya-mulai-meningkat-di-januari>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2018). *Situasi penyakit dbd di Indonesia 2017*. Infodatin.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). *Membuka lembaran baru*. Laporan Tahunan 2022 (Demam Berdarah Dengue).
- Khan-Ahmadi, A., Vatandoost, H., Akhavan, A. A., Baniardalani, M., Khalifeh-Soltani, K., Azarm, A., Zahraei-Ramazani, A. (2023). Evaluation of repellency and lethal effects of ultrasonic waves on the *blattella germanica* (blattodea: blattellidae). *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 17(1), 83–93. <https://doi.org/10.18502/jad.v17i1.13204>
- Khansa, F. K., & Dzulkiflih. (2022). Rancang bangun perangkap nyamuk otomatis menggunakan sensor suhu dan kelembapan dht11 berbasis arduino uno. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 11(2), 28–37. <https://doi.org/10.26740/ifi.v11n02.p28-37>
- Lam, S. K., Chua, K. B., Hooi, Rahimah, M. A., Kumari, S., Thamaratnam, M., Chuah, S. K., Smith, D. W., & Sampson, I. A. (2001). Chikungunya infection- an emerging disease in Malaysia. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 32(3), 447–451. https://www.tm.mahidol.ac.th/seameo/2001_32_3/01-2689.pdf
- Lehane, M. J. (1991). *Biology of Blood-Sucking Insects*. Springer Dordrecht. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-7953-9>
- Mahoney, D. (2024). The best mosquito control gear for your patio or yard. *Nytimes*. <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/mosquito-control-gear/>

- Mansyur, M., Rianti, E. D., & Setiawan, H. (2009). *Optimasi frekuensi dan dosis paparan gelombang ultrasonik untuk membunuh jentik nyamuk*. Fakultas Kedokteran Universitas Wijaya Kusuma Surabaya.
- Mawardi, S. P. (2023). *Uji optimalisasi suhu dan media penetasan larva nyamuk aedes aegypti skala laboratorium di laboratorium zoologi FMIPA Universitas Lampung*. Universitas Lampung.
- Medlock, J. M., Snow, K. R., & Leach, S. (2005). Potential transmission of west nile virus in the British Isles: An ecological review of candidate mosquito bridge vectors. *Medical and Veterinary Entomology*, 19(1), 2–21. <https://doi.org/10.1111/j.0269-283X.2005.00547.x>
- Neyberg, M. H., & Neyberg, H. J. (2001, Oktober 2). *Acoustic resonance*. Penemu, united States Patent. US 6,298,011 B1.
- Norris, D. A. (2004). Mosquito-borne diseases as a consequence of land use change. *Ecohealth*, 1, 19–24. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0008-7>
- Nugroho, S., S., Mujiyono., Setyaningsih, R., & Garjito, T., A. (2019). Daftar spesies dan data distribusi nyamuk aedes dan verallina (diptera: culicidae) terbaru di Indonesia. *Vektora: Jurnal Vektor dan Reservoir Penyakit*, 11(2), 111–120. <https://doi.org/10.22435/vk.v11i2.1462>
- Oesman, M. (1988, 23 Desember). *Dasar-dasar ultrasonografi diagnostik*. Seminar Penggunaan Ultrasonografi dalam Bidang Kedokteran, Denpasar, Bali.
- Ozkurt, H. (2021). Investigation of some ultrasonic sound frequencies effects on *culex pipiens sensustricto* (diptera: culicidae) larvae by using piezoelectric transducer. *International Journal of Tropical Insect Science*. 10.1007/s42690-021-00585-6, 41, 3225–3231. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00585-6>
- Patz, J. A., Graczyk, T. K., Geller, N., & Vittor, A. Y. (2000). Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology*, 30(12–13), 1395–1405. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(00\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00141-7)
- Pratama, G. Y. (2015). Nyamuk *anopheles* sp.. dan faktor yang memengaruhi di Kecamatan Rajabasa, Lampung Selatan. *J Majority*, 4(1), 20–27.
- Purnomo, & Rahman, A. (2011). *Atlas diagnostik malaria*. Santoso N. (Ed.). EGC.
- Purwanto, & Fajar, H. M. (1986). *Fisika terapan*. Penerbit Karunika UT. 30–42.

- Rajasekhar, P., Fan, L., Nguyen, T., & Roddick, F. A. (2012). Impact of sonication at 20 kHz on *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena circinalis*, and *Chlorella* sp. *Water Research*, 46(5), 1473–1481. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.017>
- Rakotoarinia, M. R., Blanchet, F. G., Gravel, D., Lapen, R. D., Leighton, P., Ogden, N. H., & Ludwig, A. (2022). Effects of land use and weather on the presence and abundance of mosquito-borne disease vectors in a urban and agricultural landscape in Eastern Ontario, Canada. *PLoS ONE*, 17(3), e0262376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262376>
- Raksanagara, A., S., Arisanti, N., & Rinawan, F. (2015). Dampak perubahan iklim terhadap kejadian demam berdarah di Jawa Barat. *Jurnal Sistem Kesehatan*, 1(1). <https://doi.org/10.24198/jsk.v1i1.10339>
- Rattanaarithikul, R., Harbach, R. E., Harrison, B. A., Panthusiri, P., Jones, J. W., & Coleman, R. E. (2005). Illustrated keys to the mosquitoes of Thailand. II. Genera *Culex* and *Lutzia*. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 36, 1–97.
- Rattanaarithikul, R., Harrison, B. A., Panthurisi, P., & Coleman, R. E. (2005). Illustrated Keys to the mosquitoes of Thailand I: Background; geographic distribution; lists of genera, subgenera, and species; and a key to the genera. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 36, 1–80.
- Resnick, R., & Halliday, D. (1992). *Fisika*. Erlangga.
- Ridha, M. R., Juhairiyah, & Fakhrizal, D. (2018). Pengaruh iklim terhadap peluang umur nyamuk *mansonia* spp di daerah endemis filariasis di Kabupaten Kapuas. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(2), 74. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.2.74-79>
- Sabbagha, R. E. (1980). *Diagnostic ultrasound applied to obstetrics and gynecology*. Haper & Row. 19–31.
- Sakti, C. O. (2018). *Rancang bangun pembangkit frekuensi ultrasonik untuk karakterisasi perilaku akustik pada nyamuk aedes aegypti jantan dan betina* [Tesis]. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Sales, G., & Pye, D. (1974). *Ultrasonic communication by animals*. John Wiley & Sons, Inc. 281–285.
- Samad, I., Handito, A., Sugiarto, A., Setiana, E., Gunawan, D., Silalahi, F. S. M., Nurlina, Tondang, J. I. H., Thohir, B., Nisa, A. K., Gunanto, Y., Aryani, D., Buntoro, I. F., & Utarini, A. (2022). *Membuka lembaran baru laporan tahunan 2022 demam berdarah dengue*. Kementerian Kesehatan RI. https://p2p.kemkes.go.id/wp-content/uploads/2023/06/FINAL_6072023_Layout_DBD-1.pdf

- Sari, P., & Rahmi, A. R. (2017). Hubungan kepadatan penduduk dengan kejadian demam berdarah dengue di Palu Tahun 2010-2014. *Medika Tadulako: Jurnal Ilmiah Kedokteran Fakultas Kesehatan dan Ilmu Kesehatan*, 4(1), 49–58.
- Sarudji, D. (2006). *Kesehatan lingkungan*. Ilmu Media.
- Shahir, M. (2010). *An engineer's solution to housefly menace in a premise*. UTeM Press.
- Singh, J., Brar, G. S., Noorinder, Saini, S. S., & Sidhu, E. (2016). Solar energy driven autonomous smart ultrasonic mosquito repeller system. *International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCCM.2016.7918230>
- Snow, K. R. (1990). *Mosquitoes*. Richmond, Slough.
- Sonoto. (2009). *Kemampuan adaptasi nyamuk aedes terhadap kondisi air*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Statman-Weil, Z. (2001). *Aedes communis: The pollinating mosquito*. US Forest Service. https://www.fs.usda.gov/wildflowers/pollinators/pollinator-of-the-month/aedes_communis.shtml
- Stone, A., & Knight, K. L. (2007, Desember 21). Culicidae (Diptera). *Tinjauan Taksonomi, Klasifikasi, dan Filogeni*, 591–638. <https://doi.org/10.1109/ICCCCM.2016.7918230>
- Steiger, D. M., Ritchie, S. A., & Laurance, S. W. (2016). Land use influences mosquito communities and disease risk on remote tropical islands: A case study using a novel sampling technique. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 94(2), 314–321. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0161>
- Sutiono, B. T. (1982). *Studi keamanan penggunaan gelombang ultrasonik dalam kedokteran*. Fisika Institut Teknologi Bandung. 24–43.
- Sotavalta, O. (1952). Flight-Tone and Wing-Stroke Frequency of Insects and the Dynamics of Insect Flight. *Nature*, 170, 1057–1058. <https://doi.org/10.1038/1701057a0>
- Tarigan, E. M. E. P., Zulaiha, R., Rosmaladewi, K., & Andika. (2022, 15 Maret). Demam Berdarah Dengue (DBD): Determinan, Epidemiologi dan Program Penanggulangannya di Indonesia (Literatur Riview). *Epidemiolog.id: Komunitas Penggiat Epidemiologi Indonesia*. Diakses dari <https://www.epidemiolog.id/demam-berdarah-dengue-dbd-determinan-epidemiologi-dan-program-penanggulangannya-di-indonesia-literatur-riview/>

- Tauxe, G. M., Macwilliam, D., Boyle, S. M., Guda, T., & Ray, A. (2013). Targeting a Dual detector of skin and co2 to modify mosquito host seeking. *Cell*, 155(6), 1365–1379. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.11.013>
- Tawatsin, A., Thavara, U., Siriya-satien, P., & Permpoonburana, S. (2019). Development of a novel ultrasonic sound-generated device: The physical tool for controlling immature stages of mosquitoes transmitting dengue haemorrhagic fever (*aedes aegypti*) and filariasis (*Culex quinquefasciatus*). *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 19(3), 14308–14314. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2019.19.003298>
- Tischner, H. (1953). Über den gehorsinn von stechmucken. *Acustica*, 3, 335–343. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaau/1953/00000003/00000005/art00004?crawler=true&mimetype=application/pdf>
- Tischner, H., & Schief, A. (1955). Fluggeräusch und Schallwahrnehmung bei *Aedes aegypti* L. (Culicidae). *Zool. Anz.*, 18(Suppl.), 453–460.
- Tito, S. I. (2017). Utilization of ultrasonic waves (*acheta domestica*) as a biocontrol of mosquito in Malang Agricultural Institute. *AIP Conference Proceedings*, 1908(1), 050006. <https://doi.org/10.1063/1.5012730>
- Tito, S. I., Yanuwadi, B., & Sulistya, C. (2011, Februari 2). Pengaruh gelombang ultrasonik jangkrik (*acheta domestica*) terhadap pola perilaku makan pasif dan gerak pasif tikus sawah (*rattus argentiventer*). *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*, 1(2). <https://jpal.ub.ac.id/index.php/jpal/article/view/103>
- Tito, S. I. (2020, 27 Februari). Mengupas alat gelombang ultrasonik. *duta.co*. <https://duta.co/mengupas-alat-gelombang-ultrasonik>
- Tren, R., & Bate, R. (2001). *Malaria and the DDT Story*. The Institute of Economic Affairs.
- Tuaxe, G. M., Macwilliam, D., Boyle, S. M., Guda, T., & Ray, A. (2013). Targeting a dual detector of skin and co2 to modify mosquito host seeking. *Cell*, 155(6), 1365–79. <https://doi.org/10.1016/j.cell>
- Williams, C. R., Leach, K. J., Wilson, N. J., & Swart, V. R. (2008). The allee effect in site choice behaviour of egg-laying dengue vector mosquitoes. *Tropical Biomedicine*, 25(2), 140–144. https://www.msptm.org/files/140_-144_Craig_R_Williams.pdf
- Wilson, E. O. (1972). Animal Communication. *Science Am*, 227, 52–60.
- Yap, H. H., Chong, N. L., Foo, A. E., & Lee, C. Y. (1994). Dengue vector control: Present status and future prospects. *The Kaohsiung Journal Medical Sciences*, 11, 128–13.