

# Uji kerentanan nyamuk *Aedes aegypti* Surabaya terhadap sipermetrin menggunakan metode tabung WHO

Noviandini Intan Safitri<sup>a,b,1</sup>, Hana Maghfira Arifin<sup>a,b,2</sup>, Regina Putri Dessanty<sup>a,b,3</sup>, Etik Ainun Rohmah<sup>b,4</sup>, Siti Fatimatuz Zahra<sup>b,5</sup>, Kris Cahyo Mulyatno<sup>b,6</sup>, Sri Subekti<sup>b,7</sup>, Win Darmanto<sup>a,8</sup>, Dwi Kusuma Wahyuni<sup>a,9</sup>, Salamun<sup>a,10</sup>, Intan Ayu Pratiwi<sup>a,11</sup>

<sup>a</sup> Laboratorium Entomologi, Institute of Tropical Disease, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

<sup>b</sup> Department of Biology, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

<sup>1</sup> noviandini.intan.safitri-2022@fst.unair.ac.id\*; <sup>2</sup> hana.maghfira.arifin-2022@fst.unair.ac.id; <sup>3</sup> regina.putri.dessanty-2022@fst.unair.ac.id; <sup>4</sup> Etik@staf.unair.ac.id\*

\* corresponding author

## INFO ARTIKEL

### Article history

Received 11 Januari 2026

Revised 2 Februari 2026

Accepted 27 Februari 2026

### Keywords

Knockdown

Resistensi

Sipermetrin

Tabung WHO

Uji kerentanan

## ABSTRAK

Kegagalan program pengendalian vektor demam berdarah sering dikaitkan dengan munculnya resistensi nyamuk *Aedes aegypti* terhadap insektisida. Penelitian ini dilakukan untuk menilai tingkat kerentanan nyamuk *Aedes aegypti* dewasa strain Surabaya terhadap insektisida sipermetrin menggunakan metode tabung WHO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strain Surabaya Timur dan Surabaya Selatan dari nyamuk *Aedes aegypti* mulai menunjukkan tanda-tanda resistensi terhadap insektisida sipermetrin dengan tingkat kematian untuk strain Surabaya Timur hanya mencapai 85% pada konsentrasi insektisida sipermetrin terendah dan masuk ke dalam kategori 'resisten', sedangkan tingkat kematian strain Surabaya Selatan mencapai 90% pada konsentrasi insektisida sipermetrin terendah dan masuk ke dalam kategori 'terduga resisten'. Waktu yang dibutuhkan untuk melumpuhkan 95% populasi nyamuk uji dari kedua strain (KT 95) lebih dari 1 jam dan nilai rasio resistensi kelumpuhan (KRR) lebih dari 1. Temuan ini menunjukkan perlunya perubahan tindakan dalam menangani vektor seperti perlunya rotasi insektisida, pengembangan metode pengendalian alternatif, atau pemantauan resistensi secara berkala. Informasi ini penting untuk merumuskan kebijakan pengendalian vektor yang lebih tepat dan berkelanjutan di Surabaya.



This is an open access article under the [CC-BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license.

## 1. Pendahuluan

Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan masalah kesehatan masyarakat global yang signifikan, khususnya di wilayah tropis dan subtropis. Penyakit arbovirus ini ditularkan melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* (WHO, 2013). Peningkatan insidensi dan perluasan wilayah penyebaran DBD menimbulkan tantangan besar bagi sistem kesehatan dan perekonomian, termasuk di Indonesia yang bersifat endemis dengan kejadian

wabah berulang (Bhatt *et al.*, 2013). Kota Surabaya sebagai salah satu wilayah perkotaan besar di Jawa Timur juga terus mengalami kasus DBD, sehingga memerlukan upaya pengendalian yang berkelanjutan.

Pengendalian vektor merupakan strategi utama pencegahan DBD karena belum tersedianya vaksin yang luas dan sangat efektif (Brady *et al.*, 2012). Penggunaan insektisida kimia, khususnya golongan piretroid seperti sipermetrin, masih menjadi metode yang paling cepat dan efektif dalam menekan populasi nyamuk, karena memiliki efek knockdown yang cepat dan toksisitas rendah pada mamalia (Field *et al.*, 2017). Namun, penggunaan sipermetrin secara terus-menerus dan tidak tepat dapat menurunkan sensitivitas nyamuk terhadap insektisida dan memicu terjadinya resistensi (Denholm & Devine, 2013).

Resistensi insektisida menjadi kendala utama dalam pengendalian vektor karena dapat menurunkan efektivitas program pengendalian serta meningkatkan risiko penularan DBD (Hemingway & Ranson, 2000). Serangga resisten akan menghasilkan keturunan resisten sehingga proporsinya dalam populasi semakin meningkat (Ikawati *et al.*, 2015). Oleh karena itu, WHO menekankan pentingnya pemantauan resistensi insektisida secara berkala sebagai dasar pengambilan keputusan pengendalian vektor berbasis bukti (WHO, 2013). Mengingat ketergantungan pada insektisida kimia di Surabaya, penelitian ini bertujuan untuk menilai tingkat kerentanan nyamuk dewasa *Aedes aegypti* lokal terhadap sipermetrin menggunakan metode tabung standar WHO guna mendukung optimalisasi strategi pengendalian DBD di wilayah tersebut.

## 2. Metode

Uraikan metode penelitian yang digunakan dengan jelas. Metode penelitian meliputi rancangan penelitian, populasi penelitian, perhitungan besar sampel, pengumpulan data, variabel penelitian, instrumen yang digunakan, cara analisis data. Penelitian ini menggunakan rancangan *post test only control group design* untuk membandingkan efek perlakuan sipermetrin secara akurat antara kelompok eksperimen dan kontrol. Rancangan ini dipilih untuk menghindari bias *pre-test* dan fokus pada hasil akhir tingkat kematian nyamuk dan seluruh rangkaian penelitian ini merujuk pada panduan WHOPES (2022). Penelitian dilakukan di dalam Laboratorium Entomologi ITD Universitas Airlangga dengan total populasi sampel sebesar 240 ekor nyamuk *Aedes aegypti* betina yang terdiri atas 80 ekor strain Surabaya Timur, 80 ekor strain Surabaya Selatan, dan 80 ekor strain Laboratorium Entomologi ITD Universitas Airlangga.

Pemeliharaan Nyamuk *Aedes aegypti* menggunakan kertas saring yang berisi telur nyamuk *Aedes aegypti* generasi F1 strain Surabaya Selatan dan Surabaya Timur, serta telur *Aedes aegypti* strain laboratorium F331 direndam dalam wadah terpisah yang berisi air. Larva yang sudah menetas diberi pakan pelet ikan dan air dalam wadah diganti secara berkala. Larva instar III dan IV serta pupa kemudian dipindahkan ke dalam wadah gelas plastik bertutup yang berisi air. Pupa yang telah berkembang menjadi nyamuk dewasa dipindahkan ke dalam kandang nyamuk sementara dan diberi larutan gula sebagai pakan. Nyamuk betina berumur 3–5 hari digunakan sebagai sampel uji.

Pembuatan *Impregnated Paper* Sipermetrin menggunakan 12 lembar kertas saring diukur dengan ukuran 10,5 cm × 14,5 cm dan diberi label konsentrasi pada bagian ujung kertas menggunakan pensil. Larutan insektisida uji dibuat dengan mencampurkan insektisida sipermetrin dengan pelarut berupa air dan aseton hingga volume akhir 5 ml untuk setiap konsentrasi. Perbandingan pelarut aseton dan air yang digunakan adalah 6:4. Larutan yang telah dibuat dimasukkan ke dalam masing-masing tabung dan diberi label, kemudian larutan uji ditetaskan secara merata pada permukaan kertas saring yang telah disediakan dan dibiarkan hingga mengering sempurna.

Uji Kerentanan Menggunakan Tabung WHO dengan menyiapkan empat pasang tabung standar WHO yang terdiri atas satu tabung kontrol dan tiga tabung perlakuan. Tabung penampung (*holding tube*) diberi tanda stiker hijau dan dilapisi kertas saring tanpa insektisida. Tabung uji (*exposure tube*) yang dilapisi *impregnated paper* dan tabung kontrol yang kertas saring biasa, diberi tanda stiker merah serta label. Suhu dan kelembaban ruang pengujian dicatat. Selanjutnya, sebanyak 20 ekor nyamuk dimasukkan ke dalam setiap tabung penampung menggunakan aspirator dan dibiarkan selama 1 jam untuk proses aklimatisasi. Kemudian, nyamuk dipindahkan secara hati-hati ke dalam tabung perlakuan atau tabung uji yang telah dilapisi *impregnated paper*. Jumlah nyamuk yang mengalami knockdown diamati dan dicatat setiap 5 menit selama 60 menit dengan menggunakan stopwatch. Setelah pemaparan selama 1 jam, nyamuk dipindahkan kembali ke dalam tabung penampung dan dibiarkan selama 24 jam. Setelah 24 jam, persentase kematian nyamuk pada setiap tabung dihitung. Prosedur yang sama diulangi pada nyamuk dari strain lainnya.

Status resistensi nyamuk *Aedes aegypti* ditentukan berdasarkan persentase kematian nyamuk dewasa setelah perlakuan dengan insektisida golongan piretroid. Apabila persentase kematian nyamuk pada kelompok kontrol setelah 24 jam pengamatan berada pada kisaran 3–10%, maka dilakukan koreksi menggunakan rumus Abbott sebagai berikut:

$$A1 = (A - B) / (100 - B)$$

Keterangan:

- A1 = Persentase kematian nyamuk uji setelah koreksi
- A = Persentase kematian nyamuk uji
- B = Persentase kematian nyamuk kontrol

Apabila persentase kematian nyamuk kontrol lebih dari 10%, maka pengujian dinyatakan tidak valid dan harus diulang. Kriteria status resistensi ditetapkan berdasarkan persentase kematian nyamuk uji setelah 24 jam pengamatan, dengan ketentuan sebagai berikut:

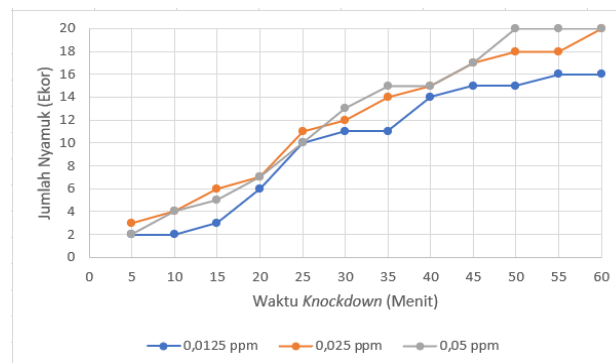
- Kematian nyamuk uji  $\geq 98\%$  dinyatakan rentan (susceptible)
- Kematian nyamuk uji  $90 - <98\%$  (suspected resistance)
- Kematian nyamuk uji  $< 90\%$  (resistant)

Analisis statistik terhadap nyamuk uji dilakukan menggunakan analisis probit pada perangkat lunak IBM SPSS Statistics untuk menentukan nilai  $KDT_{50}$  dan  $KDT_{90}$ . Perhitungan persentase kematian nyamuk uji dilakukan setelah 24 jam pemaparan terhadap *impregnated paper* sipermetrin.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pengamatan *Knockdown* 1 Jam dan *Holding* 1 Hari (per strain)

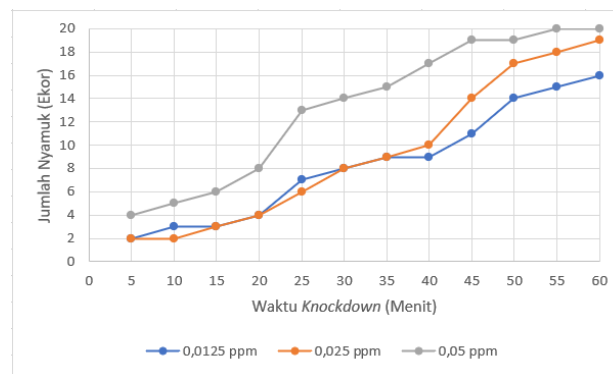
Sipermetrin pada konsentrasi 0,0125 ppm memerlukan waktu lebih dari 60 menit untuk menjatuhkan (*knockdown*) seluruh *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan, sedangkan konsentrasi 0,025 ppm membutuhkan waktu 60 menit dan konsentrasi 0,05 ppm mencapai *knockdown* total dalam waktu 50 menit (Gambar 1).



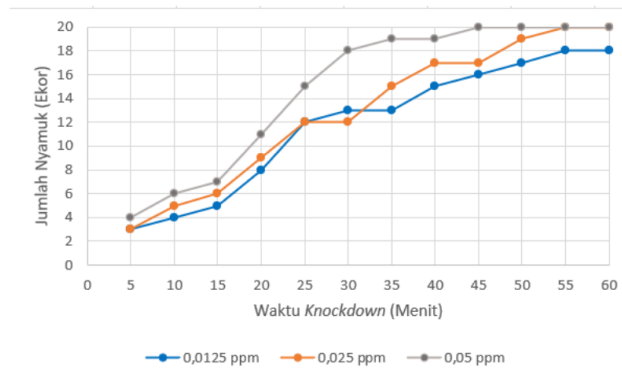
Gambar 1. *Knockdown* nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan dengan paparan sipermetrin konsentrasi 0,0125 ppm; 0,025 ppm; dan 0,05 ppm selama 1 jam

Sipermetrin pada konsentrasi 0,0125 ppm memerlukan waktu lebih dari 60 menit untuk melumpuhkan (*knockdown*) seluruh nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Timur. Pada konsentrasi 0,025 ppm juga membutuhkan waktu lebih dari 60 menit dan konsentrasi 0,05 ppm membutuhkan waktu 55 menit (Gambar 2).

Sipermetrin pada konsentrasi 0,0125 ppm memerlukan waktu lebih dari 60 menit untuk menjatuhkan (*knockdown*) seluruh nyamuk *Aedes aegypti* strain Laboratorium. Pada konsentrasi 0,025 ppm membutuhkan waktu 55 menit, sedangkan konsentrasi 0,05 ppm mencapai *knockdown* total dalam waktu 45 menit (Gambar 3).



Gambar 2. *Knockdown* nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Timur dengan paparan sipermetrin konsentrasi 0,0125 ppm; 0,025 ppm; dan 0,05 ppm selama 1 jam



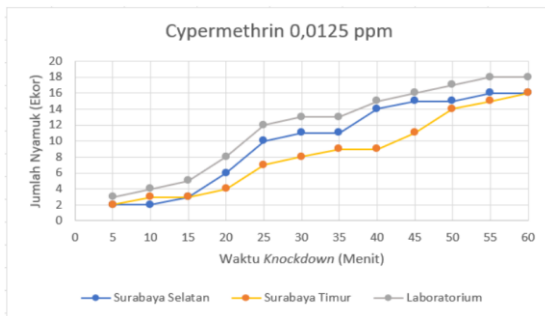
Gambar 3. *Knockdown* nyamuk *Aedes aegypti* strain laboratorium dengan paparan sipermetrin konsentrasi 0,0125 ppm; 0,025 ppm; dan 0,05 ppm selama 1 jam

### 3.2. Pengamatan *Knockdown* 1 Jam dan *Holding* 1 Hari (per konsentrasi)

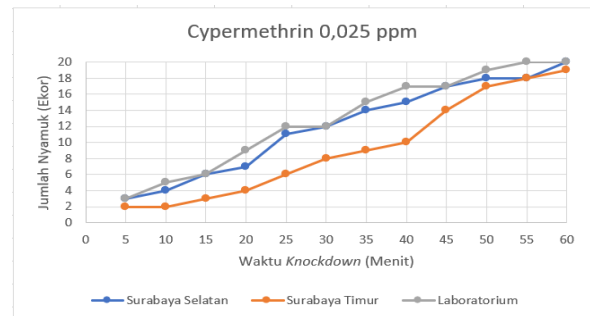
Sipermetrin pada konsentrasi 0,0125 ppm memerlukan waktu lebih dari 60 menit untuk melumpuhkan seluruh populasi nyamuk dari strain Surabaya Selatan, Surabaya Timur, dan laboratorium (Gambar 4).

Sipermetrin pada konsentrasi 0,025 ppm membutuhkan waktu lebih dari 60 menit untuk melumpuhkan seluruh populasi *Aedes aegypti* dari strain Surabaya Selatan dan Surabaya Timur serta membutuhkan waktu sekitar 55 menit untuk strain laboratorium (Gambar 5).

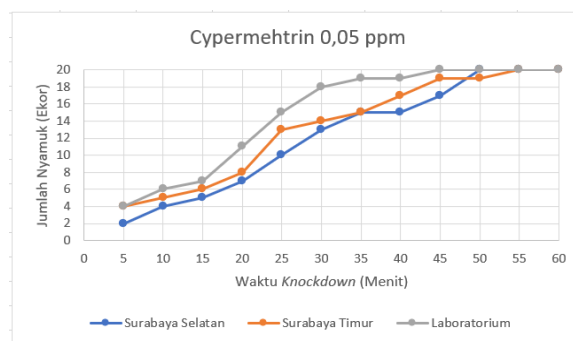
Sipermetrin pada konsentrasi 0,05 ppm memerlukan waktu sekitar 50 menit untuk menjatuhkan (*knockdown*) seluruh nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan, 55 menit untuk strain Surabaya Timur, dan 45 menit untuk strain laboratorium (Gambar 6).



Gambar 4. *Knockdown* nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan, Surabaya Timur dan laboratorium dalam paparan sipermetrin 0,0125 ppm



Gambar 5. *Knockdown* nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan, Surabaya Timur dan laboratorium dalam paparan sipermetrin 0,025 ppm



Gambar 6. *Knockdown* nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan, Surabaya Timur dan laboratorium dalam paparan sipermetrin 0,05 ppm

### 3.3. Tingkat Mortalitas dan Status Resistensi setelah *Holding 24 Jam*

Nyamuk *Aedes aegypti* dari setiap strain (Surabaya Selatan, Surabaya Timur, dan laboratorium) dipapar sipermetrin dengan konsentrasi 0,0125 ppm, 0,025 ppm, dan 0,05 ppm selama 1 jam. Kelompok kontrol pada setiap strain tidak dipapar sipermetrin selama 1 jam.

Waktu *knockdown* selama paparan dan persentase kematian dihitung setelah dilakukan *holding* selama 24 jam. Rata-rata kematian pada kelompok kontrol digunakan untuk menilai validitas uji serta menghitung mortalitas terkoreksi pada kelompok perlakuan. Dapat dilihat pada Tabel 1, *Aedes aegypti* strain lapangan dan laboratorium mulai menunjukkan reaksi resistensi terhadap konsentrasi terendah sipermetrin karena persentase mortalitas setelah koreksi berada di bawah 98%.

Tabel 1. Tingkat mortalitas dan status resistensi nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan, Surabaya Timur, dan laboratorium setelah *holding* 24 Jam

Jenis Strain	Jumlah Nyamuk	Perlakuan Uji						Perlakuan Kontrol	
		Sipermetrin 0,0125 ppm		Sipermetrin 0,025 ppm		Sipermetrin 0,05 ppm			
		%Kematian	Status	%Kematian	Status	%Kematian	Status		
Surabaya Selatan	20	90	Terduga Resisten	100	Rentan	100	Rentan	20	0
Surabaya Timur	20	85	Resisten	100	Rentan	100	Rentan	20	0
Laboratorium	20	95	Terduga Resisten	100	Rentan	100	Rentan	20	0

### 3.4. KDT (*Knockdown Time*) per Strain

*Knockdown time* dikategorikan sebagai  $KT_{50}$ , yaitu waktu yang diperlukan untuk melumpuhkan 50% ( $KT_{50}$ ) populasi nyamuk uji dan  $KT_{95}$  yang menunjukkan lama waktu untuk melumpuhkan 95% ( $KT_{95}$ ) populasi. Pada konsentrasi 0,0125 ppm diperlukan waktu 31,5 menit untuk melumpuhkan 50% populasi dan 97,46 menit untuk melumpuhkan 95% populasi *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan. Nilai  $KT_{50}$  pada konsentrasi 0,025 ppm sebesar 28,51 menit dan  $KT_{95}$  sebesar 64,31 menit. Pada konsentrasi 0,05 ppm, 50% *knockdown* terjadi dalam waktu 28,11 menit sedangkan 95% *knockdown* selama 52,52 menit (Tabel 2).

Tabel 2. KDT (*knockdown time*) nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan

Konsentrasi Sipermetrin (ppm)	$KT_{50}$ (Menit)		$KT_{95}$ (Menit)	
	$KT_{50}$	95% C.L	$KT_{95}$	95% C.L
0,0125	31.5	24.62-37.28	97.46	73.6-172.1
0,025	28.51	20.28-33.76	64.31	53.4-95.66
0,05	28.11	21.33-32.29	52.52	45.71-69.25

Nilai  $KT_{50}$  pada konsentrasi 0,0125 ppm sebesar 41,52 menit untuk melumpuhkan populasi nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Timur dan 107,92 menit untuk melumpuhkan 95% ( $KT_{95}$ ) populasi nyamuk. Pada konsentrasi 0,025 ppm, nilai  $KT_{50}$  sebesar 35,98 menit dan  $KT_{95}$  sebesar 83,59 menit.  $KT_{50}$  pada konsentrasi 0,05 ppm terjadi dalam waktu 25,33 menit dan  $KT_{95}$  memerlukan waktu 49,65 menit (Tabel 3).

Tabel 3. KDT (*knockdown time*) nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Timur

Konsentrasi Sipermetrin (ppm)	KT <sub>50</sub> (Menit)		KT <sub>95</sub> (Menit)	
	KT <sub>50</sub>	95% C.L	KT <sub>95</sub>	95% C.L
0,0125 ppm	41.52	32.27-48.94	107.92	78.45-282.49
0,025 ppm	35.98	25.28-42	83.59	66.24-163.68
0,05 ppm	26.33	18.97-30.54	49.65	43.02-64.58

Pada konsentrasi 0,0125 ppm diperlukan waktu 27,34 menit untuk melumpuhkan 50% (KT<sub>50</sub>) populasi nyamuk *Aedes aegypti* strain laboratorium dan sekitar 78,68 menit untuk melumpuhkan 95% (KT<sub>95</sub>) populasi nyamuk. Pada konsentrasi 0,025 ppm, nilai KT<sub>50</sub> sekitar 26,93 menit dan KT<sub>95</sub> sebesar 54,67 menit. KT<sub>50</sub> pada konsentrasi 0,05 ppm terjadi dalam waktu 21,05 menit dan KT<sub>95</sub> memerlukan waktu 36,23 menit (Tabel 4).

Tabel 4. KDT (*knockdown time*) nyamuk *Aedes aegypti* strain laboratorium

Konsentrasi Sipermetrin (ppm)	KT <sub>50</sub> (Menit)		KT <sub>95</sub> (Menit)	
	KT <sub>50</sub>	95% C.L	KT <sub>95</sub>	95% C.L
0,0125 ppm	27.34	19.04-33.3	78.68	61.63-130.99
0,025 ppm	26.93	18.76-31.82	54.67	46.66-76.1
0,05 ppm	21.05	15-92-24.33	36.23	31.64-46.17

### 3.5. KRR (*Knockdown Ratio Resistance*) Strain Surabaya Selatan dan Surabaya Timur

KRR (*Knockdown Ratio Resistance*) merupakan nilai perbandingan *knockdown* nyamuk *Aedes aegypti* antara strain lapangan dan strain laboratorium berdasarkan rumus berikut:

$$\frac{KT_{50} \text{ Strain Lapangan}}{KT_{50} \text{ Strain Laboratorium}} \text{ dan } \frac{KT_{95} \text{ Strain Lapangan}}{KT \text{ Strain Laboratorium}}$$

Berdasarkan Tabel 5, nilai perbandingan *knockdown resistance* antara nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan terhadap strain laboratorium pada konsentrasi sipermetrin 0,0125 ppm adalah 1,15 untuk 50% populasi dan 1,24 untuk 95% populasi nyamuk. Pada konsentrasi sipermetrin 0,025 ppm adalah 1,06 untuk 50% populasi dan 1,18 untuk 95% populasi nyamuk. Pada konsentrasi sipermetrin 0,05 ppm adalah 1,34 untuk 50% populasi dan 1,45 untuk 95% populasi nyamuk.

Tabel 5. KRR (*knockdown ratio resistance*) nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Selatan

Konsentrasi Sipermetrin (ppm)	KRR <sub>50</sub>	KRR <sub>95</sub>
,0125	1.15	1.24
0,025	1.06	1.18
0,05	1.34	1.45

Berdasarkan Tabel 6, nilai perbandingan *knockdown resistance* antara nyamuk *Aedes aegypti* strain Surabaya Timur terhadap strain laboratorium pada konsentrasi sipermetrin 0,0125 ppm adalah 1,52 untuk 50% populasi dan 1,37 untuk 95% populasi nyamuk. Pada konsentrasi sipermetrin 0,025 ppm adalah 1,34 untuk 50% populasi dan 1,53 untuk 95% populasi nyamuk. Pada konsentrasi sipermetrin 0,05 ppm adalah 1,25 untuk 50% populasi dan 1,37 untuk 95% populasi nyamuk.

Tabel 6. KRR (*Knockdown Ratio Resistance*) Nyamuk *Aedes aegypti* Strain Surabaya Timur

Konsentrasi Sipermetrin (ppm)	KRR <sub>50</sub>	KRR <sub>95</sub>
0,0125	1.52	1.37
0,025	1.34	1.53
0,05	1.25	1.37

Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan penyakit yang menjadi ancaman kesehatan masyarakat yang signifikan, terutama ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* (Isna & Sjamsul, 2021). Pengendalian vektor nyamuk ini sangat penting untuk pencegahan dan pengendalian wabah DBD. Insektisida memainkan peran penting dalam pengendalian vektor, namun penggunaan satu jenis insektisida secara terus-menerus dan luas dapat menimbulkan resistensi pada populasi nyamuk (Denholm & Devine, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk menilai kerentanan strain dewasa *Aedes aegypti* lokal dari Surabaya terhadap insektisida sipermetrin menggunakan metode tabung WHO.

Sipermetrin tergolong dalam insektisida piretroid sintetik tipe II yang efektif mengendalikan populasi nyamuk *Aedes aegypti*, vektor utama demam berdarah, dengan mengganggu sistem saraf serangga. Mekanisme utamanya melibatkan interaksi dengan saluran natrium tergantung voltase pada membran saraf akson nyamuk, yang mana sipermetrin berikatan dengan situs reseptor pada saluran tersebut, mencegah penutupannya setelah depolarisasi. Hal ini menyebabkan masuknya ion natrium secara berlebihan ke dalam sel saraf, memicu depolarisasi terus-menerus dan eksitasi saraf yang tidak terkendali. Akibatnya, nyamuk mengalami konvulsi otot, paralisis, dan akhirnya kematian, karena sistem saraf pusat tidak dapat berfungsi normal (Soderlund, 2012). Pada *Aedes aegypti*, efek ini ditingkatkan oleh kemampuan sipermetrin untuk menembus kutikula serangga melalui kontak langsung atau air yang terkontaminasi, memungkinkan penyerapan cepat ke dalam hemolimfa. Namun, resistensi terhadap sipermetrin telah dilaporkan pada beberapa populasi *Aedes aegypti* akibat mutasi genetik seperti KDR (*knockdown resistance*) yang mengubah struktur saluran natrium, sehingga mengurangi afinitas insektisida. Mekanisme ini didukung

oleh studi yang menunjukkan bahwa dosis sublethal sipermetrin dapat mengganggu perilaku nyamuk, seperti kemampuan terbang dan reproduksi, yang berkontribusi terhadap pengendalian vektor secara keseluruhan.

Hasil uji kerentanan menunjukkan bahwa tingkat kematian nyamuk *Aedes aegypti* yang terpapar sipermetrin 0,05 ppm adalah 95%. Menurut pedoman WHO, tingkat kematian antara 90-97% mengindikasikan kecurigaan resistensi (WHO, 2013). Temuan ini menunjukkan bahwa populasi *Aedes aegypti* di Surabaya mungkin sedang mengembangkan resistensi terhadap sipermetrin. Kecurigaan resistensi ini merupakan masalah yang mengkhawatirkan karena sipermetrin adalah insektisida piretroid yang banyak digunakan dalam program kesehatan masyarakat untuk pengendalian nyamuk karena efektivitasnya, efek *knockdown* yang cepat, dan toksisitas terhadap mamalia yang rendah (Field *et al.*, 2017).

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Qibtiyah *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa beberapa populasi *Ae. aegypti* di Jawa Timur, termasuk daerah perkotaan dengan penggunaan insektisida intensif, telah menunjukkan penurunan kerentanan terhadap piretroid. Namun, tingkat kematian 95% dalam penelitian ini tergolong lebih rendah dibandingkan dengan data awal program pengendalian vektor di Surabaya yang mencatat kematian di atas 98%, mengindikasikan adanya tekanan seleksi yang berkelanjutan akibat penggunaan sipermetrin secara masif dalam beberapa tahun terakhir. Di tingkat regional, temuan ini juga selaras dengan laporan dari Malaysia dan Thailand yang telah mengkonfirmasi resistensi piretroid tingkat tinggi pada *Ae. aegypti* akibat mutasi genetik knockdown resistance (KDR) (Amelia-Yap *et al.*, 2021). Perbedaan geografis dalam status resistensi ini menyoroti pentingnya data lokal untuk memandu kebijakan pengendalian vektor.

Terdapat beberapa faktor yang berkontribusi terhadap kecurigaan resistensi yang diamati dalam penelitian ini. Pertama, penggunaan insektisida piretroid, termasuk sipermetrin, yang intensif dan jangka panjang di wilayah Surabaya dapat memberikan tekanan seleksi yang kuat pada populasi nyamuk, mengarah pada kelangsungan hidup dan proliferasi individu yang resisten (Qibtiyah *et al.*, 2022). Kedua, metode aplikasi yang tidak tepat, seperti pemberian dosis sublethal atau penyemprotan yang tidak teratur, juga dapat mempercepat perkembangan resistensi. Nyamuk yang terpapar konsentrasi insektisida yang tidak memadai dapat bertahan hidup dan meneruskan gen resistensinya ke generasi berikutnya (Afrifa *et al.*, 2019). Ketiga, resistensi silang terhadap insektisida piretroid lain atau bahkan kelas insektisida yang berbeda dapat menjadi faktor jika mekanisme resistensi

yang berkembang memberikan perlindungan terhadap beberapa senyawa. Fenomena ini terjadi ketika satu mekanisme resistensi memberikan perlindungan terhadap berbagai insektisida dengan mode aksi yang serupa (Denholm & Devine, 2013).

Perkembangan resistensi sering didorong oleh mekanisme fisiologis tertentu. Pada tingkat molekuler, mekanisme resistensi piretroid yang paling umum pada *Aedes aegypti* adalah insensitivitas target situs, khususnya mutasi pada gen saluran natrium tergantung voltase, yang dikenal sebagai mutasi resistensi knockdown (KDR). Mutasi ini mencegah insektisida berikatan secara efektif dengan situs targetnya dalam sistem saraf serangga (Marcombe *et al.*, 2019). Selain itu, resistensi metabolik memainkan peran penting, di mana nyamuk memproduksi enzim detoksifikasi secara berlebihan seperti sitokrom P450 monooksigenase, esterase, dan glutathione S-transferase (GST). Enzim-enzim ini memetabolisme dan menetralkan insektisida sebelum mencapai targetnya, sehingga menjadi tidak efektif (Moyes *et al.*, 2017). Kecurigaan resistensi yang terdeteksi dalam penelitian ini kemungkinan didasari oleh satu atau kombinasi dari mutasi KDR dan peningkatan detoksifikasi metabolik ini, yang dapat menjelaskan penurunan tingkat kematian meskipun terpapar dosis diagnostik.

Implikasi dari kecurigaan resistensi ini signifikan bagi upaya pengendalian DBD di Surabaya. Jika nyamuk *Aedes aegypti* menjadi resisten terhadap sipermetrin, efektivitas strategi pengendalian vektor saat ini yang mengandalkan insektisida ini akan berkurang. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan populasi nyamuk, risiko penularan DBD yang lebih tinggi, dan wabah yang lebih sering terjadi. Oleh karena itu, penerapan strategi pengelolaan resistensi menjadi penting untuk dilakukan pada wilayah-wilayah yang menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk sebagai vektor DBD termasuk Kota Surabaya.

Dinas Kesehatan Kota Surabaya dapat menerapkan rotasi insektisida dengan mekanisme kerja berbeda, seperti menggunakan golongan organofosfat atau karbamat secara bergantian dengan piretroid setiap 3–6 bulan, serta mempertimbangkan penggunaan insektisida kombinasi yang mengandung dua bahan aktif dengan mode aksi berbeda untuk menekan kemunculan individu resisten. Selain itu, pengendalian vektor non-kimia perlu diperkuat melalui metode seperti *Wolbachia* yang telah terbukti efektif di beberapa wilayah Indonesia, serta pengelolaan lingkungan berbasis masyarakat melalui gerakan 3M Plus yang lebih intensif dan terukur (Utarini *et al.*, 2021). Untuk mendeteksi perubahan status resistensi secara dini, monitoring rutin menggunakan metode tabung WHO dan deteksi molekuler terhadap mutasi KDR perlu dilakukan minimal setiap 6 bulan sekali pada sentinel lokasi di wilayah endemis tinggi seperti Surabaya Timur dan Selatan. Pemantauan resistensi

insektisida secara berkelanjutan juga sangat penting untuk melacak perubahan kerentanan nyamuk dan mendukung pengambilan keputusan mengenai pemilihan insektisida.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian, ditarik kesimpulan bahwa temuan penelitian ini menunjukkan status ‘terduga resisten’ untuk nyamuk *Ae. aegypti* strain Surabaya Selatan dan status ‘resisten’ nyamuk *Ae. aegypti* strain Surabaya Timur terhadap insektisida sipermetrin konsentrasi terendah yaitu 0,0125 ppm. Kemunculan resistensi terhadap sipermetrin pada nyamuk *Aedes aegypti* dari Surabaya menyoroti kebutuhan mendesak untuk meninjau strategi pengendalian vektor DBD saat ini. Penelitian lebih lanjut, termasuk studi molekuler untuk mengidentifikasi mekanisme resistensi spesifik, direkomendasikan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai status resistensi dan untuk memandu.

#### BIBLIOGRAFI

- Afrifa, A., Appawu, M., Dadzie, S., & Obiri-Danso, K. (2019). Susceptibility status of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) to pyrethroid insecticides in some selected districts of the Central Region, Ghana. *Journal of Medical Entomology*, 56(4), 1095-1102. <https://doi.org/10.1093/jme/tjz027>.
- Amelia-Yap, Z., Sofian-Azirun, M., & Low, V. L. (2021). Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: A review of current status and underlying mechanisms. *Journal of Medical Entomology*, 59(3), 231-245. <https://doi.org/10.1093/jme/tjab182>
- Black, W. C., Snell, T. K., Saavedra-Rodriguez, K., Kading, R. C., & Campbell, C. L. 2021. From global to local—new insights into features of pyrethroid detoxification in vector mosquitoes. *Insects*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/insects12040276>
- Daswito, R., Samosir, K., Rahman, M. A., & Tiffany, S. 2022. Status Resistensi dan Keberadaan Virus Dengue pada Nyamuk *Aedes Sp* di Kelurahan Pinang Kencana, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau. *Jurnal Kesehatan Terpadu (Integrated Health Journal)*, 13(1), 28–37. <https://doi.org/10.32695/jkt.v13i1.199>
- Denholm, I., & Devine, G. 2013. Insecticide Resistance. *Encyclopedia of Biodiversity: Second Edition*, 4, 298–307. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00104-0>
- Field, L. M., Emyr Davies, T. G., O’Reilly, A. O., Williamson, M. S., & Wallace, B. Apengembangan program pengendalian vektor yang efektif dan berkelanjutan. Voltage-gated sodium channels as targets for pyrethroid insecticides. *European Biophysics Journal*, 46(7), 675–679. <https://doi.org/10.1007/s00249-016-1195-1>.
- López-Monroy, B., Rodríguez-Sánchez, I. P., & Flores, A. E. (2022). Assessing the impact of insecticide resistance on vector competence: A review. *Insects*, 13(4), 377. <https://doi.org/10.3390/insects13040377>.
- Marcombe, S., Fustec, B., Cattel, J., Chonephetsarath, S., Thammavong, P., Phommavanh, N., David, J. P., Corbel, V., Sutherland, I. W., & Brey, P. T. (2019). Distribution Of Insecticide Resistance And Mechanisms Involved in The Arbovirus Vector *Aedes aegypti* in Laos and Implication for Vector Control. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13(12), e0007852. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007852>.

- Moyes, C. L., Vontas, J., Martins, A. J., Ng, L. C., Koou, S. Y., Dusfour, I., Raghavendra, K., Pinto, J., Corbel, V., David, J. P., & Weetman, D. (2017). Contemporary Status of Insecticide Resistance in The Major *Aedes* Vectors of Arboviruses Infecting Humans. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, *11*(7), e0005625. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005625>.
- Nawaz, S., Tahir, H. M., Mahmood, M. A., Summer, M., Ali, S., Ali, A., & Gormani, A. H. (2021). Current status of pyrethroids resistance in *Aedes aegypti* (Culicidae: Diptera) in Lahore district, Pakistan: A novel mechanistic insight. *Journal of Medical Entomology*, *58*(6), 2432-2438. <https://doi.org/10.1093/jme/tjab137>.
- Qibtiyah, S. M., Nuryady, M. M., Susetyarini, R. E., Permana, T. I., & Sasongkojati, D. A. (2022). Analisis status resistensi *Aedes aegypti* terhadap insektisida cypermethrin 0,05% di kecamatan endemis Kabupaten Malang. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, *10*(1), 482-490. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i1.4988>.
- Rivero A, Vezilier J, Weill M, Read AF, Gandon S. 2010. Insecticide control of vector-borne diseases: when is insecticide resistance a problem.? *PLoS Pathog*, *6*(8): e1001000. doi: 10.1371/journal.ppat.1001000.
- Soderlund, D. M. 2020. Neurotoxicology of pyrethroid insecticides. In *Advances in Neurotoxicology* (1st ed., Vol. 4). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.ant.2019.11>.
- Sparks TC, Nauen R. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121:122–128.
- Utarini, A., Indriani, C., Ahmad, R. A., Tantowijoyo, W., Arguni, E., Ansari, M. R., Supriyati, E., Wardana, D. S., Meitika, Y., Ernesia, I., Nurhayati, I., Prabowo, E., Andari, B., Green, B. R., Hodgson, L., Cutcher, Z., Rancès, E., Ryan, P. A., O'Neill, S. L., & Simmons, C. P. (2021). Efficacy of *Wolbachia*-infected mosquito deployments for the control of dengue. *New England Journal of Medicine*, *384*(23), 2177-2186. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2030243>.
- WHO. 2013. Prevention and control of dengue and dengue haemorrhagic fever. Regional Guidelines. In Who. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204894>.
- Zhan, S. 2017. *Epidemiology*. Beijing: People's Medical Publishing House.