

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Pada penelitian dilakukan tinjauan literatur untuk menemukan referensi yang relevan dengan pokok bahasan penelitian ini. Referensi ini dapat berasal dari buku, artikel, jurnal, atau proposal skripsi yang relevan. Beberapa referensi yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini [5] menguji efektivitas lampu UV sebagai alat pemikat nyamuk *Aedes aegypti*. Hasilnya menunjukkan bahwa nyamuk lebih tertarik pada cahaya UV dengan panjang gelombang tertentu dibandingkan cahaya lampu biasa. Kelebihan penelitian ini adalah memberikan dasar ilmiah mengenai sensitivitas nyamuk terhadap cahaya UV. Namun, kelemahannya adalah penelitian ini tidak dilengkapi dengan mekanisme penangkap nyamuk, sehingga hanya fokus pada daya tarik cahaya. Penelitian ini relevan dengan skripsi karena menjadi landasan dalam penggunaan lampu UV, tetapi skripsi ini mengembangkannya dengan tambahan fan blower dan larvasida..
2. Pada skripsi [6] membahas Penelitian yang dilakukan dalam bentuk skripsi ini mengembangkan perangkat nyamuk dengan memanfaatkan kipas sebagai alat penarik udara dan jaring untuk menangkap nyamuk. Kelebihannya adalah konsep sederhana dan murah untuk diaplikasikan masyarakat. Namun, kelemahannya tidak ada kombinasi dengan sumber cahaya pemikat seperti UV, sehingga efektivitasnya terbatas. Dibandingkan dengan skripsi ini, penelitian tersebut menjadi pijakan dalam penggunaan fan blower, namun skripsi ini lebih unggul dengan penambahan UV light dan larvasida sebagai pembasmi.
3. Pada jurnal [7] ini Penelitian yang dilakukan pada tahun 2022 ini berfokus pada uji efektivitas larvasida nabati seperti ekstrak daun pepaya dan biji sirsak. Hasilnya menunjukkan bahwa larvasida nabati mampu menurunkan populasi larva secara signifikan. Kelebihannya adalah larvasida yang digunakan aman dan ramah lingkungan. Kelemahannya, penelitian ini hanya terbatas pada tahap larva dan tidak mencakup pembasmian nyamuk dewasa. Penelitian ini relevan karena menjadi acuan

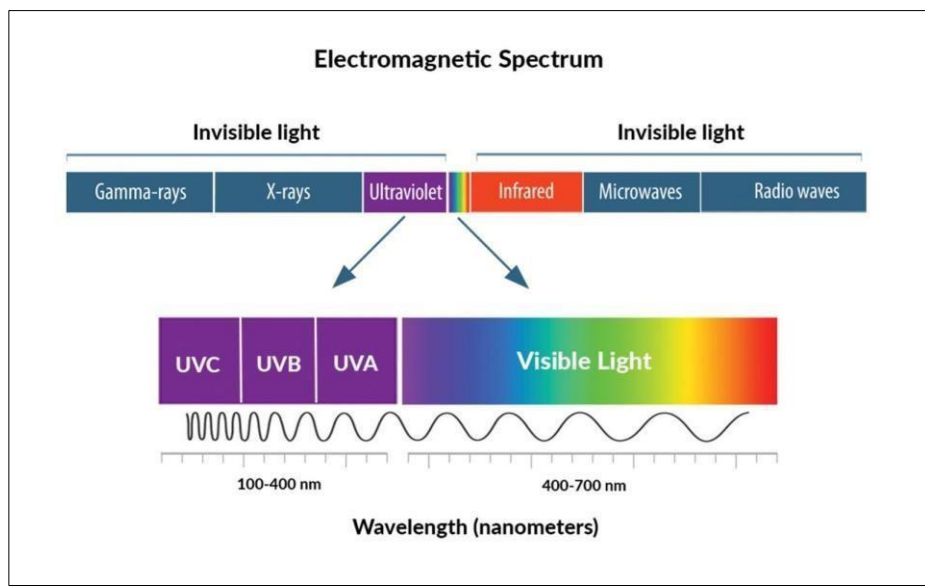
dalam pemilihan larvasida, tetapi skripsi ini lebih lengkap karena menggabungkan metode UV light dan fan blower dengan larvasida.

4. Pada penelitian [8] yang dilakukan dalam skripsi ini menggunakan metode sengatan listrik tegangan tinggi untuk membunuh nyamuk. Kelebihannya adalah tingkat kematian nyamuk tinggi dan cepat. Namun, kelemahannya adalah konsumsi daya listrik yang besar dan berpotensi berbahaya bagi pengguna. Dibandingkan dengan skripsi ini, metode fan blower dan larvasida lebih aman, hemat energi, dan ramah lingkungan. .
5. Pada jurnal [9] Penelitian yang dilakukan pada tahun 2024 ini mengembangkan sistem monitoring nyamuk berbasis IoT dengan sensor dan aplikasi berbasis cloud. Kelebihannya adalah mampu memberikan data populasi nyamuk secara real-time. Namun, kelemahannya adalah tidak ada sistem pembasmian langsung, hanya sebatas monitoring. Dibandingkan dengan skripsi ini, penelitian tersebut unggul di sisi digitalisasi, tetapi skripsi ini berfokus pada aspek pembasmian fisik dengan UV light, fan blower, dan larvasida.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Cahaya Ultraviolet

Cahaya ultraviolet (UV) merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara 100–400 nanometer (nm), lebih pendek dari cahaya tampak namun lebih panjang dari sinar-X. Berdasarkan panjang gelombangnya, UV dibagi menjadi tiga kategori, yaitu UVA (320–400 nm), UVB (280–320 nm), dan UVC (100–280 nm). Dalam konteks pengendalian nyamuk, jenis UVA umumnya digunakan karena aman bagi manusia dan efektif menarik perhatian serangga [10] .



Gambar 2. 1 Cahaya Ultraviolet

Prinsip utama pemanfaatan cahaya UV dalam pembasmi nyamuk didasarkan pada fototaksis positif, yaitu perilaku nyamuk yang bergerak mendekati sumber cahaya. Penelitian menunjukkan bahwa nyamuk lebih tertarik terhadap cahaya dengan panjang gelombang sekitar 350–370 nm, yang termasuk dalam kategori sinar UVA [11]. Oleh sebab itu, lampu UV digunakan sebagai komponen utama dalam perangkat perangkap nyamuk untuk memikat nyamuk dewasa mendekati alat sebelum ditangkap atau dibasmi.

Selain berfungsi sebagai pemikat, sinar UV juga memiliki efek antimikroba dan sterilisasi terhadap bakteri serta mikroorganisme lain. Sinar UVC, yang memiliki energi tertinggi, sering dimanfaatkan untuk desinfeksi udara dan air karena kemampuannya merusak DNA mikroorganisme. Namun, UVC tidak digunakan dalam perangkat perangkap nyamuk karena dapat membahayakan kesehatan manusia dan hewan [12]. Oleh karena itu, penggunaan UVA lebih direkomendasikan karena lebih aman namun tetap efektif sebagai pemikat serangga.

Penggunaan cahaya UV dengan panjang gelombang 365 nm meningkatkan efektivitas perangkap nyamuk hingga 45% lebih tinggi dibandingkan dengan lampu LED putih konvensional. Selain itu, kombinasi lampu UV dan fan blower dapat memperbesar

tingkat penangkapan nyamuk pada ruangan tertutup secara signifikan. Hal ini karena nyamuk yang tertarik pada cahaya UV akan mendekat, lalu tersedot oleh aliran udara dari fan blower menuju ruang penampung [13].

Dari segi teknis, lampu UV memiliki keunggulan seperti hemat energi, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh di pasaran. Namun, efektivitasnya dapat menurun jika digunakan pada kondisi ruangan yang terlalu terang atau pada suhu lingkungan yang rendah [14]. Oleh karena itu, pada penelitian ini, penggunaan lampu UV dipadukan dengan fan blower dan zat larvasida untuk menciptakan sistem pembasmi nyamuk yang lebih efektif dan menyeluruh. Dengan demikian, teori mengenai cahaya UV menjadi dasar penting dalam perancangan alat pembasmi nyamuk ini. Kombinasi antara sifat fototaksis nyamuk terhadap UV, kekuatan hisap fan blower, serta efektivitas larvasida dalam memutus siklus hidup nyamuk diharapkan mampu menciptakan alat yang efisien, aman, dan ramah lingkungan.

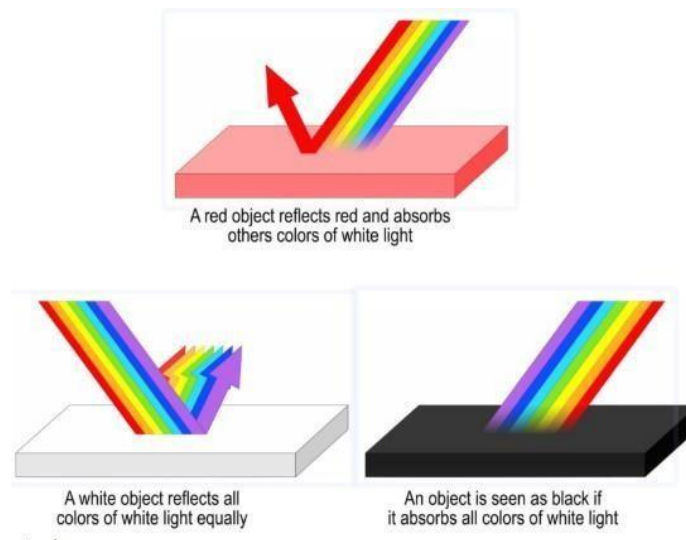
2.2.2 Karakteristik Warna Gelap

dengan "Benda Hitam Ideal". Berbeda dengan warna terang yang cenderung memantulkan cahaya, warna hitam justru menyerap hampir seluruh energi cahaya atau radiasi yang mengenainya. Fenomena ini menyebabkan benda berwarna gelap akan terasa lebih cepat panas dibandingkan benda berwarna cerah ketika berada di bawah paparan cahaya atau sumber energi panas lainnya. Penyerapan energi ini akan diubah menjadi energi panas (kalor) yang kemudian disimpan dan dipancarkan kembali ke udara di sekitarnya.

Kaitan antara penyerapan panas ini dengan kelembapan dapat dijelaskan melalui sifat dasar udara. Udara memiliki kapasitas tertentu dalam menampung uap air, di mana kapasitas ini sangat dipengaruhi oleh suhu. Ketika permukaan alat yang berwarna hitam menyerap panas, suhu udara di sekitar alat tersebut akan meningkat. Secara alami, saat suhu udara naik, molekul-molekul udara akan merenggang sehingga udara tersebut menjadi "lebih haus" atau mampu menampung lebih banyak uap air [15].

Hal inilah yang menyebabkan nilai Kelembapan Relatif (Relative Humidity) menurun saat suhu naik, meskipun jumlah air di udara sebenarnya tidak berkurang.

Kelembapan Relatif adalah perbandingan antara jumlah uap air yang ada dengan kapasitas maksimal yang bisa ditampung udara pada suhu tersebut. Jadi, korelasi antara benda hitam dan kelembapan adalah hubungan tidak langsung: warna hitam menaikkan suhu, dan kenaikan suhu inilah yang kemudian menurunkan nilai kelembapan relatif di sekitar perangkat.



Gambar 2. 2 Sifat Benda Hitam

Kenaikan suhu pada permukaan benda hitam ini secara langsung akan memengaruhi kondisi udara di sekitarnya, terutama parameter kelembapan. Hubungan ini dijelaskan melalui konsep Kelembapan Relatif (*Relative Humidity* atau RH). Perlu dipahami bahwa udara memiliki kapasitas tertentu untuk menyimpan uap air, dan kapasitas ini berubah-ubah mengikuti suhu. Semakin panas udara, semakin banyak uap air yang bisa ditampung (udara menjadi "lebih haus").

2.2.3 Fan Blower

Fan blower merupakan perangkat elektromekanis yang berfungsi untuk menggerakkan udara atau gas melalui sistem aliran dengan memanfaatkan gaya rotasi baling-baling atau impeller. Prinsip kerjanya didasarkan pada konversi energi listrik menjadi energi mekanik, yang kemudian menghasilkan perbedaan tekanan antara sisi hisap dan sisi buang, sehingga udara bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah [16].



Gambar 2. 3 Fan Blower

Penggunaan fan blower dengan kecepatan rotasi sekitar 3000 rpm mampu menciptakan kecepatan udara 3–5 m/s, yang cukup untuk menarik serangga kecil seperti nyamuk tanpa merusak sayapnya [17]. Dari sisi desain, posisi fan blower sangat berpengaruh terhadap efektivitas penangkapan. Penempatan kipas di bagian bawah atau belakang lampu UV dapat menciptakan arus udara konvergen yang menarik nyamuk langsung ke ruang penampungan. Sementara itu, pemasangan filter halus atau jaring tambahan pada outlet udara berfungsi untuk mencegah nyamuk keluar kembali setelah tertangkap [18].

Dengan demikian, teori mengenai fan blower menjadi dasar penting dalam rancangan sistem pembasmi nyamuk berbasis UV Light dan Fan Blower dengan campuran zat larvasida, di mana fan blower berfungsi sebagai komponen penangkap mekanik untuk memastikan nyamuk yang tertarik oleh cahaya UV benar-benar terperangkap di dalam alat.

2.2.4 Mini Pump 5VDC

Pompa air mini 5V merupakan perangkat elektromekanis yang dirancang untuk memindahkan fluida cair dari satu titik ke titik lain dengan memanfaatkan energi listrik DC (*Direct Current*). Dalam kategori komponen elektronika mikro, perangkat ini termasuk dalam jenis pompa sentrifugal induksi magnetik. Prinsip kerja utamanya didasarkan pada gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran kipas (*impeller*) di dalam ruang pompa. Ketika motor dialiri arus listrik, medan magnet yang dihasilkan akan

memutar poros *impeller*, menciptakan perbedaan tekanan yang menghisap cairan melalui saluran masuk (*inlet*) dan mendorongnya keluar melalui saluran keluar (*outlet*) [19].



Gambar 2. 4 Mini Pump 5VDC

Perangkat ini memiliki karakteristik *submersible*, yang berarti seluruh bodi pompa dapat direndam di dalam cairan tanpa risiko korsleting karena telah dilapisi dengan resin epoksi kedap air. Keunggulan utama dari pompa jenis ini adalah konsumsi dayanya yang sangat rendah, sehingga kompatibel untuk disuplai langsung oleh mikrokontroler melalui modul relay atau transistor sebagai saklar elektronik. Selain itu, penggunaan motor *brushless* pada beberapa varian modern memberikan umur pakai yang lebih panjang serta tingkat kebisingan yang rendah saat beroperasi. Secara teknis, kinerja pompa air mini ini diukur melalui dua parameter utama, yaitu laju aliran (*flow rate*) dan ketinggian dorong (*static head*). Laju aliran menentukan volume cairan yang dapat dipindahkan dalam satuan waktu (biasanya liter per jam), sedangkan ketinggian dorong menentukan kemampuan pompa untuk melawan gravitasi saat mendorong cairan secara vertikal. Penggunaan tegangan 5V DC menjadikan komponen ini sangat ideal untuk sistem portabel yang berbasis catu daya USB atau baterai lithium [20].

Tabel 2. 1 Spesifikasi Mini Pump 5VDC

NO	Fitur	Keterangan
1	Tegangan Operasional	3V - 5V DC
2	Konsumsi Arus	100mA - 200mA
3	Laju Aliran (<i>Flow Rate</i>)	80 - 120 Liter/Jam
4	Arus keluaran Maksimum	3A
5	<i>Tinggi Angkat Maksimum</i>	0.4m - 1.1m
6	Material Bodi	Plastik ABS / Resin Epoksi
7	Diameter Luar Outlet	± 7.5 mm
8	Jenis Motor	Brushless DC Motor
9	Tingkat Kedap Air	IP68 (Bisa Direndam)

2.2.5 Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino Nano merupakan papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis pada chip ATmega328P. Meskipun memiliki dimensi yang jauh lebih ringkas dibandingkan dengan tipe Uno, Arduino Nano memiliki kapabilitas pemrosesan yang identik, sehingga mampu mengeksekusi instruksi program yang kompleks tanpa memerlukan ruang kompartemen elektronik yang luas di dalam kerangka alat pembasmi nyamuk.

Penggunaan Arduino Nano pada alat ini difokuskan pada tiga fungsi utama: akuisisi data, logika pengambilan keputusan, dan pengendalian beban. Pada aspek akuisisi data, Arduino Nano memanfaatkan pin digital untuk berkomunikasi dengan sensor DHT11 guna memantau parameter suhu lingkungan secara real-time. Selain itu, mikrokontroler ini berkomunikasi melalui protokol I2C (Inter-Integrated Circuit) dengan sensor INA219 untuk memantau arus dan tegangan pada jalur beban. Kemampuan ATmega328P dalam menangani interupsi dan pengaturan waktu (timer) sangat krusial, terutama untuk menjaga akurasi jeda waktu penyemprotan larvasida yang telah ditetapkan setiap 30 menit melalui Relay 2, sekaligus menjaga responsivitas Relay 1 terhadap fluktuasi suhu yang dideteksi oleh sensor DHT11.

Secara teknis, Arduino Nano beroperasi pada tegangan 5 Volt dengan kecepatan *clock* 16 MHz, yang dinilai lebih dari cukup untuk menangani proses komputasi pada alat ini. Keunggulan lain dari pemilihan komponen ini adalah fleksibilitas catu dayanya; Arduino Nano dapat menerima tegangan input melalui pin Vin yang sudah teregulasi atau melalui koneksi Mini-USB. Dalam sistem pembasmi nyamuk ini, stabilitas Arduino Nano menjadi kunci utama agar alat dapat beroperasi secara terus-menerus selama periode operasional malam hari tanpa mengalami *hang* atau kegagalan sistem. Dengan menggunakan bahasa pemrograman C++ melalui Arduino IDE, logika kontrol dapat dioptimalkan sedemikian rupa sehingga pemanfaatan memori *Flash* sebesar 32 KB dan SRAM sebesar 2 KB dapat dikelola secara efisien untuk menjamin keberlanjutan operasional alat selama pengujian satu minggu penuh.



Gambar 2. 5 Arduino Nano. [21]

Pemilihan Arduino Nano sebagai pusat kendali pada alat pembasmi nyamuk ini didasarkan pada dimensi fisiknya yang ringkas sehingga memudahkan integrasi dalam wadah alat, serta efisiensi konsumsi daya internalnya yang rendah guna mendukung analisis penghematan energi yang lebih akurat melalui sensor INA219. Meskipun berukuran kecil, mikrokontroler berbasis ATmega328P ini menawarkan stabilitas tinggi dalam pemrosesan data *real-time* untuk mengendalikan Relay 1 berbasis suhu dari sensor DHT11 dan Relay 2 untuk penyemprotan larvasida secara periodik, yang diperkuat oleh

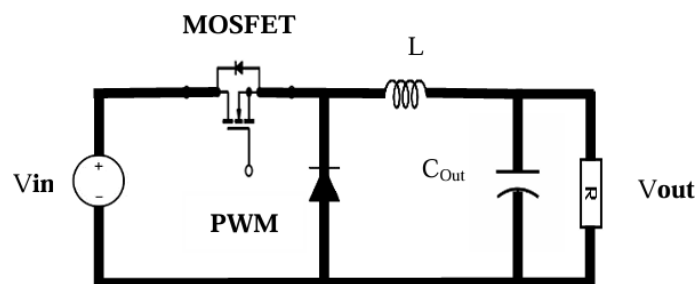
penelitian Ramadhan, dkk. (2022) dan Santoso (2023) mengenai keandalan sistem kontrol otomatis dan akurasi monitoring daya pada perangkat *embedded* [22].

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Nano Devkit V1

NO	Fitur	Keterangan
1	Tegangan Operasi	5 Volt DC
2	Tegangan Vin	6 - 20 Volt (Direkomendasikan 7-12V pada pin Vin)
3	CPU	ATmega328P (8-bit AVR)
4	Pin I/O Digital	14 Pin (D0 - D13)
5	FLASH	2MB
6	Kecepatan Prosesor	16 MHz
7	Pemrograman	C, C++, Python, Lua
8	Output PWM	6 Pin (D3, D5, D6, D9, D10, D11)
9	Pin Input Analog	8 Pin (A0 - A7)
10	Arus DC per Pin I/O	40 mA (Maksimum)
11	Memori Flash	32 KB (Program space)
12	SRAM	2 KB (Static RAM)
13	EEPROM	1 KB (Non-volatile memory)
14	Komunikasi Serial	UART, SPI, I2C

2.2.6 Buck Converter LM2596 12V – 5V

Buck converter adalah jenis konverter DC - DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan masukan ke tegangan yang lebih rendah sesuai kebutuhan. Efisiensi penurunan tegangan pada umumnya dapat mencapai tingkat efisiensi 70% - 90% .



Gambar 2. 6 Skematik Buck Converter

Tegangan keluaran dari rangkaian dapat diatur dengan mengubah siklus kerja atau(*duty cycle*) dalam rentang 0% (T_{Off}) - 100% (T_{On}). Kemudian sebuah kapasitor (C_{Out}) diintegrasikan ke dalam rangkaian kerja untuk mengurangi fluktuasi arus dan tegangan yang dapat terjadi akibat proses dari konverter. Ketika saklar tertutup, induktor

menyimpan energi, dan pada saat saklar terbuka, energi yang tersimpan pada inductor akan ditransfer ke kapasitor [23].

Tabel 2. 3 Spesifikasi Stepdown DC-DC LM2596

NO	Fitur	Keterangan
1	IC Regulator	LM2596
2	Tegangan Masukan	3.2 - 40 V
3	Tegangan Keluaran	1.25 - 35 V 1.25 - 35 V
4	Arus keluaran Maksimum	3A
5	<i>Frequency</i>	65 kHz
6	Koefisien Konversi	<90 %
7	Suhu Kerja	- 45 - $\pm$ 85 °C
8	Dimensi	43 x 21 x 14 mm

LM2596 adalah sebuah modul regulator tegangan DC-DC yang dirancang untuk mengubah tegangan input yang lebih tinggi menjadi tegangan output yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi. Pada modul ini ditambahkan trimmer atau potensiometer yang dapat menurunkan tegangan secara variabel. Berikut spesifikasi dari modul regulator penurun daya ini.



Gambar 2. 7 Modul Stepdown 12V – 5V LM2596. [24]

2.2.7 Cairan Larvasida

Larvasida merupakan zat kimia atau senyawa biologis yang digunakan untuk membunuh larva serangga, khususnya larva nyamuk, sebelum berkembang menjadi dewasa. Penggunaan larvasida menjadi salah satu strategi penting dalam pengendalian vektor penyakit seperti demam berdarah dengue (DBD), malaria, dan chikungunya. Terdapat dua jenis utama larvasida, yaitu larvasida sintetis (kimiawi) dan larvasida alami (nabati).

Larvasida kimia seperti temephos (dikenal juga sebagai Abate) bekerja dengan cara mengganggu sistem saraf larva nyamuk sehingga menyebabkan kematian sebelum metamorfosis. Temephos efektif dalam konsentrasi rendah dan mampu bertahan lama di lingkungan air. Namun, penggunaan jangka panjang dapat menyebabkan resistensi nyamuk serta pencemaran lingkungan perairan [25].

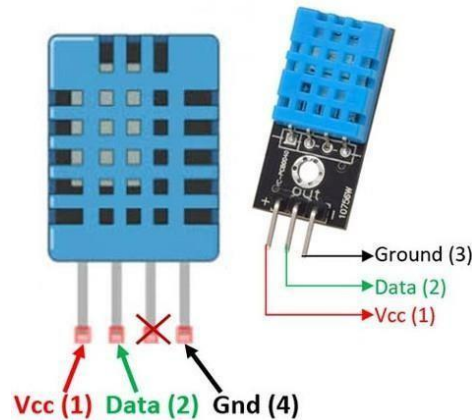
Sebagai alternatif ramah lingkungan, larvasida nabati semakin banyak dikembangkan. Bahan-bahan alami seperti ekstrak biji pepaya (*Carica papaya*), daun serai (*Cymbopogon citratus*), biji srikaya (*Annona squamosa*), dan biji mimba (*Azadirachta indica*) terbukti memiliki senyawa aktif seperti saponin, alkaloid, dan flavonoid yang mampu menghambat pertumbuhan dan metabolisme larva nyamuk [26] [27].

Selain itu, larvasida berbahan alami juga lebih biodegradable, tidak menimbulkan residu berbahaya, dan relatif aman bagi manusia maupun organisme non-target. Namun, kelemahannya adalah daya tahan dan efektivitasnya yang cenderung lebih rendah dibanding larvasida sintetis, serta ketidakstabilan konsentrasi bahan aktif akibat faktor lingkungan [28].

Dalam penelitian ini, larvasida digunakan sebagai komponen pendukung alat pembasmi nyamuk berbasis UV dan fan blower, di mana cairan larvasida ditempatkan di wadah penampung hasil hisapan fan blower. Fungsinya adalah untuk membunuh larva atau telur nyamuk yang mungkin tersisa, sehingga mencegah daur hidup nyamuk berlanjut. Pendekatan kombinasi ini memberikan efek ganda, yakni membasmi nyamuk dewasa dan sekaligus menekan pertumbuhan populasi baru.

2.2.8 DHT11

Sensor DHT11 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara bersamaan dalam suatu lingkungan. Sensor ini banyak diaplikasikan pada sistem pemantauan lingkungan karena memiliki bentuk yang sederhana, konsumsi daya rendah, serta kemudahan dalam integrasi dengan sistem mikrokontroler. DHT11 bekerja dengan menggabungkan dua elemen utama, yaitu sensor kelembapan berbasis kapasitif dan sensor suhu berupa thermistor tipe NTC (Negative Temperature Coefficient). Kedua elemen tersebut diproses oleh rangkaian internal sehingga menghasilkan data suhu dan kelembapan dalam bentuk sinyal digital yang dapat dibaca secara langsung oleh sistem pengendali [29].



Gambar 2. 8 Sensor DHT11 [29]

Prinsip kerja sensor DHT11 dalam mengukur kelembapan didasarkan pada perubahan nilai kapasitansi akibat adanya variasi kadar uap air di udara. Ketika kelembapan udara meningkat, material dielektrik pada sensor akan menyerap lebih banyak uap air sehingga nilai kapasitansinya berubah. Perubahan ini kemudian dikonversi menjadi data digital oleh rangkaian internal sensor. Sementara itu, pengukuran suhu dilakukan menggunakan thermistor NTC, di mana nilai resistansi akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu lingkungan. Data hasil pengukuran suhu dan kelembapan dikirimkan melalui satu jalur komunikasi digital, sehingga meminimalkan kesalahan pembacaan akibat gangguan sinyal analog [30].

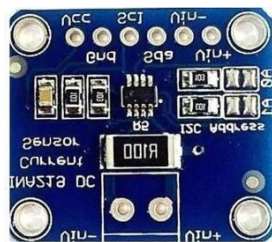
Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor DHT11

NO	Fitur	Keterangan
1	IC Regulator	LM35
2	Tegangan Masukan	3.3 - 5 VDC
3	Rentang Pengukuran Suhu	0 – 50 °C
4	Akurasi Suhu	±2 °C
5	Rentang Pengukuran Kelembapan	20 – 90 % RH
6	Akurasi Kelembapan	±5 % RH
7	Waktu Sampling	1 detik (1 Hz)
8	Konsumsi Arus	±0,5 mA (saat pengukuran)
9	Metode Kalibrasi	Kalibrasi pabrik
10	Dimensi Modul	±15,5 × 12 × 5,5 mm

Sensor DHT11 memiliki rentang pengukuran standar, yaitu kelembapan relatif antara 20% hingga 90% dan suhu antara 0°C hingga 50°C. Meskipun sensor ini tidak memiliki tingkat akurasi setinggi sensor kelas industri, rentang ukurannya cukup memadai untuk kebutuhan sistem monitoring lingkungan umum, terutama pada penelitian akademik dan proyek Berbasis Arduino Nano. Ciri khasnya antara lain respon yang cepat, konsumsi energi rendah, serta keluaran data yang berupa sinyal digital siap proses tanpa perlu konversi analog-ke-digital eksternal.

2.2.9 INA219

Sensor INA219 merupakan modul pengukur arus dan tegangan yang dirancang untuk memberikan data pengukuran arus, tegangan, dan daya secara akurat dalam sistem listrik DC. INA219 menggabungkan penguat tegangan shunt, pengukur tegangan bus, dan pengolah ADC 12-bit dalam satu chip sehingga memungkinkan pengukuran yang relatif presisi terhadap parameter listrik pada beban atau sumber energi DC. Sensor ini menggunakan antarmuka I²C untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler, sehingga mempermudah pembacaan data tanpa membutuhkan banyak pin input/output. Modul INA219 sudah banyak digunakan dalam berbagai sistem monitoring daya, seperti pada pengukuran arus dan tegangan lampu jalan, sistem baterai, dan perangkat elektronik lain yang memerlukan pengawasan konsumsi energi secara real-time. Penelitian yang dilakukan oleh Hidayah & Amperawan menunjukkan bahwa INA219 mampu bekerja dengan akurasi tinggi (error sekitar 0,73% untuk tegangan dan 0,75% untuk arus) saat digunakan untuk monitoring arus dan tegangan penerangan lampu jalan berbasis sistem embedded [31].



Gambar 2. 9 Sensor INA219

Prinsip kerja INA219 melibatkan pengukuran tegangan drop pada resistor shunt yang ditempatkan pada jalur beban, dan kemudian tegangan bus supply utama diukur

secara langsung. Perbedaan tegangan antara kedua titik tersebut diproses oleh amplifier internal chip, kemudian dikonversi menjadi data digital oleh ADC, dan dihitung sebagai arus yang mengalir melalui resistor shunt. Selain itu, sensor ini juga menyediakan fungsi perhitungan daya (power) secara real-time menggunakan hasil pengukuran arus dan tegangan. Karena kemampuan ini, INA219 tidak hanya digunakan untuk sekadar membaca arus, tetapi juga sangat cocok untuk sistem yang membutuhkan pemantauan daya secara keseluruhan seperti pada manajemen baterai atau pemantauan konsumsi daya mikrokontroler. Dalam penelitian [32] memanfaatkan INA219 untuk analisis konsumsi dan fluktuasi arus pada berbagai mode mikrokontroler, sensor ini juga terbukti efektif dalam membandingkan karakteristik konsumsi energi di berbagai kondisi operasi.

Tabel 2. 5 Spesifikasi INA219

NO	Fitur	Keterangan
1	IC Regulator	INA219
2	Tegangan Masukan	3.3 - 5 VDC
3	Rentang Pengukuran Tegangan	0 – 26 VDC
4	Rentang Pengukuran Arus	$\pm 3,2$ A (tergantung kalibrasi shunt)
5	Antarmuka Komunikasi	I ² C (dua kabel: SDA, SCL)
10	Dimensi Modul	± 25 mm $\times$ 15 mm $\times$ 3 mm

Dari sisi karakteristik teknis, INA219 sangat sesuai untuk aplikasi yang memerlukan monitoring konsumsi daya rendah hingga menengah karena rentang tegangan yang luas (hingga puluhan volt), resolusi tinggi, dan kemudahan integrasi. Modul INA219 banyak diimplementasikan dalam eksperimen pengukuran arus dan tegangan baterai, sistem kelistrikan panel surya, hingga pemantauan parameter daya pada robotika dan sistem embedded lainnya. Dalam banyak studi ilmiah dan rekayasa, termasuk riset yang mengembangkan alat monitoring parameter baterai menggunakan INA219, sensor dinilai mampu memberikan hasil pembacaan yang cukup dekat dengan standar pengukuran pada multimeter, dengan error yang relatif kecil dan konsistensi data yang baik jika dikalibrasi dengan benar.

2.2.10 Relay 5V 2 Channel

Modul Relay 5V 2 Channel digunakan sebagai sakelar elektronik yang memisahkan antara sirkuit arus rendah (mikrokontroler) dengan sirkuit arus tinggi (beban kipas dan pompa). Pemilihan modul 2 channel ini sangat krusial karena sistem memerlukan dua jalur kendali yang independen untuk menjalankan fungsi yang berbeda. Relay pertama (Channel 1) dihubungkan ke fan blower yang aktivasinya diatur oleh Arduino Nano berdasarkan data suhu dari sensor DHT11, sedangkan relay kedua (Channel 2) dihubungkan ke pompa larvasida yang bekerja secara periodik setiap 30 menit. Penggunaan modul relay ini memberikan keamanan bagi mikrokontroler melalui fitur *optocoupler* yang mencegah arus balik (*back EMF*) dari motor kipas atau pompa merusak pin digital Arduino Nano [33].



Gambar 2. 10 Spesifikasi Relay 5V 2 Channel

Dengan konfigurasi *Normally Open* (NO), beban hanya akan dialiri arus listrik saat Arduino memberikan sinyal pemicu, sehingga mendukung efisiensi energi yang dipantau melalui sensor INA219. Stabilitas pergantian status (*switching*) pada modul ini memastikan bahwa durasi penyemprotan larvasida tetap presisi dan respon kipas terhadap perubahan suhu lingkungan berlangsung tanpa kendala teknis yang berarti [34].

Tabel 2. 6 Spesifikasi Relay 5V 2 Channel

NO	Fitur	Keterangan
1	Tegangan Operasi (VCC)	5V DC
2	Arus Pemicu (Trigger)	5mA - 20mA
3	Kapasitas Beban AC	Maksimum 250V / 10A
4	Kapasitas Beban DC	Maksimum 30V / 10A
5	Jenis Kontak	NO (Normally Open) & NC (Normally Closed)
10	Mekanisme Pemicu	Low Level Trigger

2.2.11 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak *open-source* berbasis Java yang berfungsi sebagai lingkungan pengembangan terpadu untuk menulis, menyusun (*compile*), dan mengunggah (*upload*) kode program ke berbagai papan mikrokontroler, termasuk Arduino Nano. Perangkat lunak ini mendukung bahasa pemrograman C dan C++ dengan abstraksi fungsi yang telah disederhanakan melalui pustaka (*library*) Wiring. Dalam penelitian ini, Arduino IDE berperan sebagai jembatan utama untuk menerjemahkan logika algoritma—seperti kontrol relay berbasis suhu dan pewaktuan penyemprotan larvasida—ke dalam instruksi bahasa mesin yang dipahami oleh mikrokontroler ATmega328P [35].



Arduino IDE [36]

Proses pemrograman pada Arduino IDE dilakukan dalam modul yang disebut dengan *Sketch*. Secara struktural, setiap *sketch* pada alat pembasmi nyamuk ini dibagi menjadi dua fungsi utama: `void setup()` dan `void loop()`. Fungsi `setup()` digunakan untuk inisialisasi parameter awal seperti penentuan mode pin relay sebagai output, inisialisasi

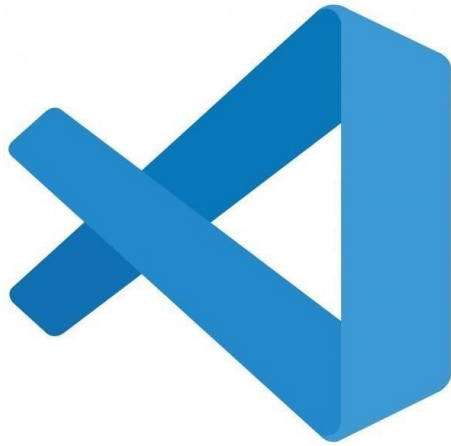
sensor DHT11, serta pengaturan *baud rate* untuk komunikasi serial dengan sensor INA219. Sementara itu, fungsi `loop()` berfungsi sebagai algoritma utama yang berjalan secara terus-menerus selama alat mendapatkan suplai daya [37].

Tabel 2. 7 Fitur Arduino IDE

NO	Fitur	Keterangan
1	Text Editor	Media penulisan sintaks dengan fitur <i>Syntax Highlighting</i> untuk meminimalisir kesalahan ketik
2	Compiler (AVR-GCC)	Mengonversi kode sumber menjadi file biner (.hex) yang dapat dipahami mikrokontroler.
3	Serial Monitor	Alat untuk memantau data suhu dan daya secara tekstual saat proses pengujian
4	Serial Plotter	Memvisualisasikan data sensor dalam bentuk grafik <i>real-time</i> untuk analisis fluktuasi
5	Library Manager	Mempermudah integrasi driver sensor DHT11 dan INA219 ke dalam program
6	Board Manager	Mengatur konfigurasi komunikasi agar sesuai dengan spesifikasi Arduino Nano.
7	Debugging Console	Memberikan laporan kesalahan (<i>error log</i>) jika terjadi kegagalan saat kompilasi kode

2.2.12 Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) adalah perangkat lunak penyunting kode sumber (*source code editor*) berbasis *open-source* yang dikembangkan oleh Microsoft. Perangkat lunak ini dirancang sebagai platform pengembangan yang ringan namun kuat, dengan kemampuan untuk menangani berbagai bahasa pemrograman melalui ekosistem ekstensi yang luas. Dalam pengembangan sistem Berbasis Arduino Nano, VS Code berfungsi sebagai lingkungan pengembangan terpadu (IDE) tingkat lanjut yang menawarkan efisiensi lebih tinggi dalam manajemen proyek, penulisan kode, hingga proses otomatisasi pengiriman data melalui terminal terintegrasi [38].



Gambar 2. 11 Visual Studio Code

Fungsionalitas utama VS Code terletak pada arsitekturnya yang modular. Pengguna dapat mengintegrasikan berbagai alat pengembang seperti *debugger*, kontrol versi Git, dan *compiler* pihak ketiga ke dalam satu antarmuka tunggal [39].