

DAYA REPELENSI FORMULASI KOMBINASI EKSTAK CITRUS AURANTIFOL DAN ALLIUM SATIVUM TERHADAP MUSCA DOMESTICA

Lusi Marlina¹⁾, Irma Nuril Maryam²⁾, Isnaini Sri Rahayu³⁾

Program Studi Teknik Kimia, Politeknik TEDC Bandung^{1),2),3)}

Email: lusi@poltektedc.ac.id¹⁾, irmanuril@poltektedc.ac.id²⁾, isnainisriahayuu@gmail.com³⁾

Abstrak

Lalat rumah (*Musca domestica*) merupakan vektor mekanis penyakit pencernaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas daya tolak kombinasi ekstrak kulit jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) dan bawang putih (*Allium sativum*) terhadap *Musca domestica* serta menentukan rasio paling optimal. Penelitian eksperimental kuantitatif ini menggunakan rancangan faktorial 12 perlakuan dengan dua kali pengulangan. Formulasi rasio 50%:50% (sampel a3b3) menghasilkan daya tolak tertinggi sebesar 76,67%, memenuhi standar SNI 6729:2025 (minimal 65%). Hasil uji Two-Way ANOVA ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa konsentrasi ekstrak kulit jeruk nipis ($F = 384,75$; $df = 2$; $p = 9,46 \times 10^{-10}$) dan ekstrak bawang putih ($F = 99,38$; $df = 2$; $p = 3,40 \times 10^{-7}$) masing-masing berpengaruh signifikan secara mandiri ($p < 0,05$). Namun, interaksi antara kedua ekstrak tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan ($F_{hitung} = 0,82$; $df = 4$; $p = 0,737 > 0,05$). Hal ini mengindikasikan bahwa sifat kerja gabungan kedua ekstrak dalam menolak lalat bersifat aditif, bukan sinergis.

Kata Kunci: Bawang Putih, Jeruk Nipis, Lalat Rumah, Repellent Nabati, Maserasikan Fitokimia.

Abstract

Houseflies (*Musca domestica*) serve as mechanical vectors for digestive pathogens. This study aimed to evaluate the repellency of combined lime peel (*Citrus aurantifolia*) and garlic (*Allium sativum*) extracts against *Musca domestica* and identify the optimal ratio. A quantitative experimental design with a factorial pattern involving 12 treatment groups and two replications was employed. The 50%:50% ratio formulation (sample a3b3) achieved the highest repellency at 76.67%, surpassing the SNI 6729:2025 threshold of 65%. Two-Way ANOVA ($\alpha = 0.05$) revealed that both lime peel extract ($F = 384.75$; $df = 2$; $p = 9.46 \times 10^{-10}$) and garlic extract ($F = 99.38$; $df = 2$; $p = 3.40 \times 10^{-7}$) independently had a significant effect on repellency ($p < 0.05$). However, their interaction was not statistically significant ($F_{hitung} = 0.82$; $df = 4$; $p = 0.737 > 0.05$). These findings indicate that the combined repulsive action of the two extracts is additive rather than synergistic.

Keywords: *Allium sativum*, Botanical Repellent, *Citrus aurantifolia*, *Musca domestica*, Phytochemical Maceration.

I. PENDAHULUAN

Persoalan sanitasi lingkungan di berbagai wilayah perkotaan maupun pedesaan sering kali diperburuk oleh melimpahnya populasi vektor mekanis penyakit, salah satunya adalah lalat rumah (*Musca domestica*). Secara epidemiologis, spesies ini memiliki peranan vital sebagai perantara perpindahan mikroorganisme patogenik, seperti bakteri usus, virus, protozoa, hingga telur cacing parasit yang memicu timbulnya berbagai gangguan gastroenteritis pada manusia, khususnya diare. Mekanisme transmisi patogen oleh lalat rumah tidak hanya berlangsung secara pasif melalui pelekatan mikroba pada bagian luar tubuhnya (seperti seta, tarsus, dan probosis), tetapi juga secara aktif melalui regurgitasi (proses memuntahkan kembali cairan makanan yang telah terkontaminasi) serta pelepasan ekskreta pada substrat bahan pangan.

Beban bio-kontaminasi yang dibawa oleh *Musca domestica* sangat dipengaruhi oleh kondisi kelembapan dan suhu lingkungan. Menurut data literatur epidemiologi dari Satoto dkk. (2023), kuantitas mikroflora bakteri yang dapat melekat pada tubuh satu ekor lalat rumah berkisar antara 10^2 hingga 10^3 koloni pada musim kemarau. Angka ini mengalami lonjakan yang sangat masif ketika

memasuki musim penghujan, di mana muatan bakteri mampu mencapai skala 10^8 hingga 10^9 koloni per individu lalat. Faktor inilah yang mendasari tingginya insidensi penyakit infeksi saluran cerna pada periode transisi cuaca dan musim hujan, sehingga strategi pengendalian populasi lalat menjadi hal yang sangat mendesak dalam proteksi kesehatan publik.

Selama beberapa dekade terakhir, program pengendalian hama vektor umumnya sangat bertumpu pada penggunaan agen kimia sintesis, seperti golongan organofosfat, karbamat, dan piretroid buatan. Walaupun memberikan daya bunuh yang cepat (*knockdown effect*), pemakaian produk insektisida berbasis sintesis kimia secara eksekutif dan berlanjut telah memicu berbagai dampak negatif jangka panjang. Masalah utama yang timbul mencakup:

1. Terjadinya resistensi genetik pada populasi *Musca domestica* akibat seleksi alam dari paparan dosis subletal secara konstan. Akumulasi residu beracun yang mencemari komponen tanah, sumber air, serta bahan pangan.

2. Adanya ancaman toksisitas akut maupun kronis bagi manusia dan hewan bukan sasaran (*non-target organisms*).

Menghadapi tantangan lingkungan tersebut, perhatian dunia ilmiah kini terfokus pada pengembangan agen penolak serangga (*repellent*) yang memanfaatkan potensi bahan alam nabati. *Repellent* berbasis ekstrak tumbuhan menawarkan pendekatan proteksi yang lebih aman karena cara kerjanya yang difokuskan untuk menghalangi atau mencegah hinggapnya serangga tanpa harus memusnahkannya secara radikal, sehingga meminimalkan gangguan keseimbangan ekosistem. Selain itu, senyawa metabolit sekunder tumbuhan umumnya bersifat lebih mudah terdegradasi secara biologis (*biodegradable*) dan relatif ramah lingkungan.

Di antara berbagai kekayaan flora Nusantara, perikarp atau kulit buah jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) dan umbi bawang putih (*Allium sativum*) menyimpan potensi metabolit sekunder yang sangat berprospek sebagai *bio-repellent*. Kulit jeruk nipis merupakan limbah pengolahan pangan yang kaya akan minyak atsiri dengan komponen volatil utama berupa limonen. Senyawa golongan monoterpena ini memiliki karakteristik aroma citrus yang sangat tajam dan menyengat, yang secara fisiologis terbukti menimbulkan respons penolakan (*repellency*) pada sistem sensori olfaktori serangga (Setiawan dkk., 2023).

Di sisi lain, umbi bawang putih (*Allium sativum*) telah lama dikenal memiliki kandungan konstituen organosulfur yang sangat tinggi, dengan komponen utama berupa allicin. Di samping allicin, ekstrak *Allium sativum* juga mengandung fitokimia aktif lainnya seperti flavonoid, saponin, tanin, serta fraksi minyak atsiri aromatik. Keberadaan senyawa-senyawa ini memberikan aroma khas yang sangat kuat dan bersifat neurotoksik ringan bagi sistem saraf perifer serangga.

Meskipun kajian mengenai pemanfaatan ekstrak kulit *Citrus aurantifolia* maupun *Allium sativum* secara independen sebagai agen pengendali hama telah banyak dilaporkan, eksplorasi saintifik yang secara spesifik mengkaji pengaruh perbandingan formulasi kombinasi dari kedua ekstrak tersebut terhadap respons daya tolak lalat rumah (*Musca domestica*) masih sangat terbatas. Penggabungan dua jenis ekstrak alami ini berpotensi memberikan respons aditif atau sinergis dalam mengacaukan sistem penentuan navigasi kimiawi (*chemosensory*) pada serangga.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah efektivitas formulasi kombinasi antara ekstrak perikarp jeruk nipis dan ekstrak umbi bawang putih dalam menolak keberadaan lalat rumah (*Musca domestica*).

Secara rinci, tujuan dari penyelenggaraan penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis efektivitas daya tolak (*repellency*) dari berbagai variasi perbandingan kombinasi

ekstrak kulit jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) dan ekstrak bawang putih (*Allium sativum*) terhadap vektor lalat rumah (*Musca domestica*).

2. Menentukan komposisi rasio konsentrasi terbaik dari kombinasi kedua ekstrak nabati tersebut yang memberikan efektivitas penolakan paling optimal dan memenuhi standar baku teknis yang berlaku.

II. LANDASAN TEORI

A. Lalat Rumah (*Musca Domestica*)

Lalat rumah (*Musca domestica*) termasuk dalam ordo *Diptera* dan famili *Muscidae*. Secara morfologis, lalat dewasa berukuran panjang sekitar 6–7 mm dengan warna tubuh abu-abu kehitaman serta memiliki empat garis hitam longitudinal pada bagian dorsum toraks. Organ penglihatan berupa mata majemuk yang sangat peka terhadap pergerakan dan intensitas cahaya, sementara antena tipe *aristate* berfungsi sebagai organ penerima rangsangan kimiawi (pembauan) utama.

Dalam kerangka epidemiologi penyakit infeksi, *Musca domestica* dikategorikan sebagai vektor mekanis multifungsi. Vektor ini tidak membutuhkan perantara siklus perkembangbiakan spesifik di dalam tubuhnya bagi agen penyakit; patogen hanya menempel secara fisik atau berada di dalam saluran pencernaan lalat. Pilihan habitat perindukan lalat rumah sangat terfokus pada lokasi-lokasi yang kaya akan bahan organik membusuk dengan tingkat sanitasi rendah, seperti tempat pembuangan sampah akhir (TPA), pasar tradisional, pasar ikan/daging, serta area peternakan.

Siklus hidup *Musca domestica* tergolong sebagai metamorfosis sempurna (*holometabola*) yang berlangsung sangat cepat bergantung pada kondisi temperatur ekosistem lingkungan:

1. Fase Telur: Induk lalat betina mampu menghasilkan telur sebanyak 75 hingga 150 butir dalam sekali bertelur, dengan total produksi sepanjang hidupnya mencapai 500 butir. Pada kondisi optimal, telur akan menetas menjadi larva (*maggot*) dalam kurun waktu kurang dari 24 jam (8–12 jam).
2. Fase Larva: Terdiri dari tiga *instar* larva yang memakan bahan organik membusuk selama kurun waktu 3–5 hari.
3. Fase Pupa: Larva *instar* akhir berpindah ke tempat yang lebih kering untuk membentuk *puparium*. Fase pupa berlangsung selama 3 hingga 4 hari sebelum akhirnya *imago* (lalat dewasa) keluar dari pembungkus pupa.
4. Fase Dewasa: *Imago* siap bereproduksi dalam waktu beberapa hari setelah kemunculannya, sehingga lonjakan populasi lalat dapat terjadi secara eksponensial dalam waktu yang sangat singkat.

B. Karakteristik Fitokimia Kulit Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*)

Jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) merupakan tanaman perdu dari famili *Rutaceae* yang dimanfaatkan luas baik sebagai komoditas pangan maupun bahan baku farmasi. Bagian kulit buah (perikarp) jeruk nipis mengandung jaringan kelenjar minyak yang kaya akan konstituen volatil atau minyak atsiri. Berdasarkan kajian spektroskopi kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS), komponen dominan dari minyak atsiri kulit *Citrus aurantifolia* adalah limonen (mencapai rentang 60–80%), disusul oleh senyawa monoterpena lain seperti β -pinena, γ -terpinena, sabinena, dan sitral (Setiawan dkk., 2023).

Hasil penapisan fitokimia secara komprehensif mengonfirmasi bahwa fraksi ekstrak kulit jeruk nipis mengandung berbagai kelas metabolit sekunder bioaktif, meliputi alkaloid, saponin, flavonoid, steroid/terpenoid, tanin, dan senyawa fenolik (Kasim dkk., 2025). Mekanisme aksi bioaktif fitokimia tersebut terhadap fisiologi serangga adalah sebagai berikut:

1. Limonen: Memiliki tingkat penguapan (*volatilitas*) yang tinggi dan menghasilkan aroma khas yang merangsang organ reseptor olfaktori pada antena serangga, memicu respons pemindahan posisi (*avoidance behavior*) atau aktivitas penolakan (*repellency*).
2. Flavonoid: Bertindak sebagai senyawa toksik berdaya ganda, yakni sebagai racun kontak, racun perut, serta inhibitor sistem pernapasan serangga. Flavonoid menghambat kinerja rantai transpor elektron di mitokondria seluler dan mengganggu metabolisme energi alami, yang pada tingkat konsentrasi tinggi dapat berujung pada kematian serangga sasaran.
3. Asam sitrat: Memberikan keasaman alami yang dapat memodifikasi kestabilan fisikokimia sediaan formulasi.

C. Potensi Bioaktif Umbi Bawang Putih (*Allium Sativum*)

Bawang putih (*Allium sativum*) dari famili *Amaryllidaceae* dikenal secara luas memiliki spektrum aktivitas biologis yang sangat beragam, mulai dari antibakteri, antijamur, hingga insektisida/repellent. Karakteristik unik dari bawang putih berasal dari keberadaan senyawa organosulfur yang terbentuk ketika jaringan sel umbi mengalami kerusakan mekanis.

Ketika umbi bawang putih dihancurkan, enzim alliinase akan mengatalis konversi prekursor alliin (*S-allylcysteine sulfoxide*) menjadi allicin (*diallyl thiosulfinate*). Allicin merupakan senyawa bioaktif volatil yang memancarkan aroma sulfur yang sangat tajam dan khas. Di samping allicin, ekstrak *Allium sativum* mengandung kelompok metabolit sekunder seperti flavonoid, saponin, tanin, dan minyak atsiri organosulfur lainnya.

Mekanisme bioaktivitas senyawa fitokimia bawang putih terhadap serangga mencakup beberapa jalur:

1. Saponin: Bekerja sebagai zat antifeedant (penghambat nafsu makan) dan merusak membran mukosa saluran pencernaan serangga. Selain itu, saponin mampu menurunkan aktivitas enzim asetilkolinesterase (AChE)—enzim penting dalam transmisi impuls saraf serangga—serta menghambat proses sintesis adenosin trifosfat (ATP). Dampak dari inhibisi ini adalah gangguan pasokan energi internal dan disfungsi sistem saraf yang berujung pada kelesuan hingga kematian serangga (Ilham dkk., 2022).
2. Minyak Atsiri Organosulfur: Menguap ke udara dan memberikan sinyal kimiawi penolak yang mengacaukan kemampuan kemoreseptor alat dalam mendeteksi sumber makanan atau atraktan penarik lokasi.

D. Prinsip Dasar Ekstraksi Metode Maserasi

Ekstraksi merupakan proses pemisahan senyawa bioaktif terlarut dari matriks simplisia tumbuhan dengan memanfaatkan pelarut yang sesuai. Pada penelitian ini, metode ekstraksi yang dipilih adalah maserasi. Maserasi merupakan teknik ekstraksi dingin yang tergolong sederhana, efisien, dan ekonomis. Prinsip kerjanya didasarkan pada perendaman serbuk simplisia dalam pelarut organik pada temperatur ruangan (20°C hingga 30°C) selama rentang waktu tertentu tanpa melibatkan proses pemanasan eksternal.

Keunggulan utama dari metode maserasi dingin adalah mencegah terjadinya degradasi termal (*thermal degradation*) atau kerusakan struktur molekul pada senyawa metabolit sekunder yang bersifat termolabil (seperti kelompok flavonoid tertentu, monoterpena volatil, dan allicin) (Hujjatunaini dkk., 2021).

Pemilihan jenis pelarut sangat menentukan efisiensi dan tingkat perolehan (*yield*) ekstrak. Pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelarut etanol dengan konsentrasi 70%. Etanol 70% merupakan pelarut hidroalkoholik yang memiliki tingkat kepolaran ganda (*amphiphilic*). Keberadaan fraksi air sebesar 30% memicu pembengkakan (*swelling*) pada dinding sel tumbuhan, sehingga memudahkan penetrasi molekul etanol ke dalam sitoplasma sel untuk melarutkan metabolit polar dan semi-polar seperti flavonoid, tanin, saponin, dan glikosida. Selain itu, etanol memiliki titik didih yang relatif rendah ($\approx 78^\circ\text{C}$), sehingga mempermudah proses pemekatan ekstrak pada suhu sedang tanpa merusak kandungan senyawa aktif.

E. Landasan Penemuan dan Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai efektivitas *botanical repellent* telah banyak dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya. Hasil-hasil pengujian terdahulu memberikan rujukan metodologis dan komparatif yang disajikan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Sintesis Rujukan Penelitian Terdahulu Terkait Insektisida dan *Repellent* Alami

Peneliti & Tahun	Matriks Bahan Aktif & Organisme Sasaran	Temuan & Performa Terbaik
Alpian & Puspita (2024)	Ekstrak perikarp jeruk nipis + Larutan NaCl vs <i>Musca domestica</i>	Kombinasi konsentrasi 30% ekstrak + 10% garam menghasilkan proteksi total (0 ekor lalat hinggap).
Ilham dkk. (2022)	Ekstrak umbi <i>Allium sativum</i> vs <i>Musca domestica</i>	Konsentrasi ekstrak 12,5% memberikan efektivitas daya tolak sebesar 54%.
Firyanto dkk. (2021)	Ekstrak kulit <i>Citrus aurantifolia</i> vs Jangkrik (<i>Gryllidae</i>)	Konsentrasi ekstrak 25% memicu tingkat mortalitas serangga sebesar 92%.
Yadnya dkk. (2023)	Ekstrak kulit jeruk nipis + Perasan jeruk nipis vs Kutu Rambut (<i>Pediculus humanus capitis</i>)	Formulasi rasio 25% : 75% menghasilkan efektivitas pembasmian paling optimal.
Purnama & Garmini 2024	Ekstrak daun <i>Citrus aurantifolia</i> vs Nyamuk (<i>Aedes aegypti</i>)	Dosis 60 mg menghasilkan proteksi mutlak (0 ekor nyamuk hinggap).

Meskipun penelitian-penelitian di atas menunjukkan potensi tinggi dari *Citrus aurantifolia* maupun *Allium sativum*, belum ada pengujian komprehensif yang mengkaji interaksi sinergis/aditif dari penggabungan formulasi ekstrak kulit jeruk nipis dan ekstrak bawang putih khusus untuk daya tolak *Musca domestica* dengan pendekatan faktorial.

III. METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian dan Spesifikasi Populasi/Sampel

Penelitian ini dirancang menggunakan metode eksperimental murni (*true experimental design*) yang berlandaskan pada pendekatan kuantitatif rasional-empiris. Pengujian dilaksanakan di laboratorium dengan mengendalikan variabel-variabel lingkungan untuk mengisolasi pengaruh perlakuan terhadap variabel respons.

Populasi uji yang digunakan adalah spesies lalat rumah (*Musca domestica*) yang ditangkap langsung dari habitat alamnya di sekitar area permukiman warga, pasar sayuran tradisional, dan

lokasi pembuangan sampah sementara. Pemilihan spesimen acak dilakukan tanpa membedakan jenis kelamin (*unsexed*) maupun estimasi umur lalat guna merepresentasikan populasi heterogen di alam bebas. Jumlah total sampel lalat yang digunakan dalam seluruh rangkaian eksperimen adalah sebanyak 240 ekor, yang terbagi ke dalam unit-unit kurungan uji.

B. Material dan Peralatan

Bahan baku utama yang disiapkan mencakup 12 kg buah jeruk nipis segar (*Citrus aurantifolia*) untuk diambil perikarpnya, 3 kg umbi bawang putih (*Allium sativum*), serta pelarut etanol teknis dengan derajat kemurnian 70% sebanyak 10 liter. Bahan penunjang pengujian meliputi akuades steril (*aquadest*), medium umpan atraktan lalat, dan kertas saring.

Peralatan yang digunakan terdiri dari perangkat ekstraksi (*beaker glass*, *maserator*, corong *Buchner*, dan unit pemanas *waterbath*), timbangan analitik presisi (akurasi 0,0001 g), instrumen pH meter digital terkalibrasi, oven pengering, desikator, wadah semprot aplikator (*spray bottle*), serta kurungan uji penolakan lalat berukuran kustom 25 × 25 × 25 cm yang dilengkapi jaring penutup transparan.

C. Rancangan Penelitian

Percobaan disusun berdasarkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola Faktorial 3 × 3 ditambah dengan kelompok kontrol akuades serta dua kontrol blanko ekstrak tunggal murni (100%), sehingga secara keseluruhan terdapat 12 kombinasi perlakuan. Seluruh unit percobaan diulang sebanyak 2 kali (*duplo*), menghasilkan total 24 satuan unit pengamatan ekperimental. Dua faktor independen yang dievaluasi adalah:

- Faktor A: Konsentrasi Ekstrak Perikarp Jeruk Nipis, terdiri dari 3 taraf:
 - a_1 = Konsentrasi 10% (v/v)
 - a_2 = Konsentrasi 25% (v/v)
 - a_3 = Konsentrasi 50% (v/v)
- Faktor B: Konsentrasi Ekstrak Umbi Bawang Putih, terdiri dari 3 taraf:
 - b_1 = Konsentrasi 10% (v/v)
 - b_2 = Konsentrasi 25% (v/v)
 - b_3 = Konsentrasi 50% (v/v)

Matriks kombinasi perlakuan untuk variabel campuran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancangan penelitian

Faktor A (Jeruk Nipis) \ Faktor B (Bawang Putih)	b1 (10%)	b2 (25%)	b3 (50%)
a_1 (10%)	$a_1 b_1$	$a_1 b_2$	$a_1 b_3$
a_2 (25%)	$a_2 b_1$	$a_2 b_2$	$a_2 b_3$
a_3 (50%)	$a_3 b_1$	$a_3 b_2$	$a_3 b_3$

Catatan: Perlakuan Kontrol mencakup K_0 (Akuades 100%), K_a (Blanko Ekstrak Jeruk Nipis

100%), dan K_b (Blanko Ekstrak Bawang Putih 100%).

D. Prosedur Penelitian

Kulit jeruk nipis dan bawang putih dikeringkan di bawah sinar matahari (ditutup kain hitam) hingga kadar air $\leq 10\%$ untuk menghasilkan simplisia, kemudian dihaluskan dengan blender. Simplisia diekstraksi melalui maserasi bertingkat (dua kali perendaman selama 12 jam) menggunakan etanol 70% dengan perbandingan antara bahan dan pelarut 1:3. Filtrat hasil maserasi dipekatkan dengan metode *water bath* (air 80°C) hingga diperoleh ekstrak pekat. Ekstrak pekat selanjutnya diencerkan dengan akuades sesuai konsentrasi perlakuan (10%, 25%, 50%) dan dikemas dalam wadah semprot.

E. Parameter Pengamatan dan Analisis Data

Parameter yang diuji meliputi kadar air simplisia dengan metode gravimetri mengacu pada SNI 01-7085-2005, pH *repellent* menggunakan pH meter terkalibrasi mengacu pada SNI 2588:2017, uji hedonik oleh 30 panelis nonstandar terhadap warna, aroma, dan kecepatan kering dengan skala 1 (sangat tidak suka) hingga 5 (sangat suka), dan uji daya tolak mengacu pada SNI 6729:2025 tentang sistem pertanian organik yang mensyaratkan efektivitas pestisida biologi minimal 65%. Uji daya tolak dilakukan dengan menyemprotkan *repellent* pada wadah umpan yang ditempatkan bersama 10 ekor lalat dalam kurungan uji berukuran 25x25x25 cm, kemudian jumlah lalat yang hinggap diamati setiap 20 menit selama 60 menit. Persentase daya tolak dihitung dengan rumus:

$$\text{Daya Tolak (\%)} = [(R - T) / R] \times 100\%$$

Dengan R adalah jumlah lalat yang digunakan dan T adalah rata-rata jumlah lalat hinggap pada tiap perlakuan. Data dianalisis menggunakan aplikasi Excel dengan uji *Two-Way ANOVA* dan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf signifikansi 5% untuk melihat pengaruh faktor A (konsentrasi ekstrak kulit jeruk nipis), faktor B (konsentrasi ekstrak bawang putih), dan interaksi keduanya terhadap daya tolak. Data uji hedonik dianalisis menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) ANOVA.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rendemen Ekstrak dan Kadar Air Simplisia

Proses maserasi kulit jeruk nipis menghasilkan rendemen ekstrak pekat sebesar 10,63%, sedangkan maserasi bawang putih menghasilkan rendemen 11,37%. Keduanya tergolong baik karena tidak kurang dari 10% (Fadilla dkk., 2025). Rata-rata kadar air simplisia kulit jeruk nipis sebesar 6,73% dan simplisia bawang putih sebesar 8,37%, keduanya telah memenuhi SNI 01-7085-2005 yang mensyaratkan kadar air simplisia maksimal 10%.

B. Analisis pH Repellent

Blanko ekstrak kulit jeruk nipis memiliki pH 3,87, sedangkan blanko ekstrak bawang putih memiliki pH 5,84. Pada sampel *repellent* (Tabel 3), pH tertinggi diperoleh pada sampel a_1b_1 (10%:10%) sebesar 5,21 dan terendah pada a_3b_1 (50%:10%) sebesar 4,52; peningkatan konsentrasi ekstrak kulit jeruk nipis secara konsisten menurunkan pH karena kandungan asam sitrat yang mendominasi keasaman produk akhir. Seluruh nilai pH berada pada rentang aman bagi kulit menurut SNI 2588:2017, yaitu 4,5–8,0.

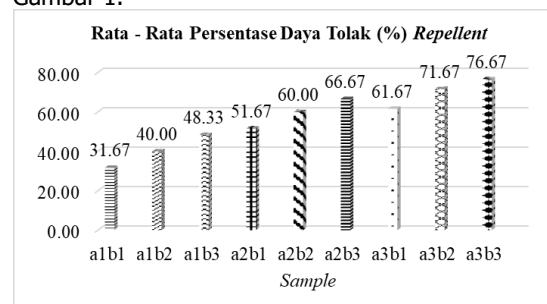
Tabel 3. Hasil analisis pH *repellent*

Sampel	pH
a_1b_1	5,21
a_1b_2	5,00
a_1b_3	5,12
a_2b_1	5,07
a_2b_2	4,73
a_2b_3	5,00
a_3b_1	4,52
a_3b_2	4,86
a_3b_3	4,92

C. Analisis Efektivitas Daya Tolak (Repellency)

Hasil pengujian daya tolak menunjukkan variasi kemampuan represi terhadap lalat rumah (*Musca domestica*). Pada kelompok kontrol negatif (akuades 100%), nilai daya tolak adalah **0%**, yang mengonfirmasi bahwa akuades tidak memiliki efek represi dan lalat bebas hinggap pada media umpan. Kelompok kontrol positif berupa blanko tunggal ekstrak kulit jeruk nipis 100% dan blanko ekstrak bawang putih 100% masing-masing menghasilkan daya tolak sebesar **76,67%** dan **75,00%**.

Visualisasi peningkatan daya tolak pada 9 kombinasi sampel sediaan *repellent* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil rata-rata persentase daya tolak *repellent*

Daya tolak terendah ditemukan pada sampel a_1b_1 (10%:10%) dengan persentase 31,67%. Efektivitas penolakan mengalami peningkatan bertahap seiring dengan besarnya konsentrasi kedua ekstrak dalam formulasi. Puncak efektivitas penolakan dicapai oleh sampel a_3b_3 (50% ekstrak

kulit jeruk nipis : 50% ekstrak bawang putih) yang mampu memicu daya tolak sebesar 76,67%.

Berdasarkan ambang batas regulasi SNI 6729:2025 mengenai syarat efektivitas biologis biopestisida/repellent alami (minimum efektivitas 65%), maka formulasi sampel a_2b_3 (66,67%), a_3b_2 (71,67%), dan a_3b_3 (76,67%) dikategorikan lulus uji efektivitas standar nasional.

Pengujian signifikansi statistik dilakukan menggunakan uji *Two-Way ANOVA* untuk mengevaluasi pengaruh Faktor A, Faktor B, dan interaksi ($A \times B$) terhadap variabel daya tolak. Hasil olah data disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Evaluasi Statistik *Two-Way ANOVA* Daya Tolak *Repellent*

Sumber Variasi (Source of Variation)	p-value Terhitung	Signifikansi pada $\alpha=0,05$	Kesimpulan Statistik
Faktor A (Ekstrak Jeruk Nipis)	$9,458 \times 10^{-10}$	$p < 0,05$	Signifikan (H_0 Ditolak)
Faktor B (Ekstrak Bawang Putih)	$3,401 \times 10^{-7}$	$p < 0,05$	Signifikan (H_0 Ditolak)
Interaksi ($A \times B$)	0,737	$p > 0,05$	Tidak Signifikan (H_0 Diterima)

Berdasarkan analisis pada Tabel 4, diperoleh nilai p -value untuk Faktor A ($9,458 \times 10^{-10}$) dan Faktor B ($3,401 \times 10^{-7}$) yang jauh lebih kecil daripada taraf nyata $\alpha = 0,05$. Hal ini membuktikan bahwa variasi konsentrasi ekstrak kulit jeruk nipis maupun ekstrak bawang putih secara terpisah berpengaruh nyata secara statistik terhadap peningkatan daya tolak lalat rumah.

Namun, hasil analisis pada komponen interaksi ($A \times B$) menghasilkan nilai p -value sebesar 0,737, yang berada di atas nilai $\alpha = 0,05$ ($p > 0,05$). Secara teoretis, tidak adanya interaksi yang signifikan mengindikasikan bahwa pengaruh penggabungan ekstrak kulit jeruk nipis dan ekstrak bawang putih bersifat aditif (independen), bukan sinergis. Artinya, masing-masing ekstrak memberikan kontribusi penolakan berdasarkan mekanisme aksi zat aktifnya sendiri tanpa saling memperkuat atau mengganggu secara biokimia.

Untuk mengidentifikasi perbedaan spesifik antar tingkat konsentrasi, dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5% dengan nilai BNT hitung sebesar 0,936. Hasil uji lanjut BNT disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji Lanjut BNT 5% Pengaruh Utama Faktor A dan Faktor B Terhadap Tolak

Faktor Perlakuan	Taraf Konsentrasi	Rata-Rata Daya Tolak (%)	Notasi DMRT/ BNT
Faktor A (Jeruk Nipis)	a_3 (50%)	70,00	a
	a_2 (25%)	59,45	b
	a_1 (10%)	40,00	c
Faktor B (Bawang Putih)	b_3 (50%)	63,89	a
	b_2 (25%)	57,22	b
	b_1 (10%)	48,33	c

Keterangan: Huruf notasi yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik pada uji BNT 5%.

Data pada Tabel 5 memperlihatkan bahwa setiap kenaikan taraf konsentrasi baik pada Faktor A ($a_3 > a_2 > a_1$) maupun Faktor B ($b_3 > b_2 > b_1$) menghasilkan notasi yang berbeda nyata. Hal ini menegaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak bioaktif yang disemprotkan, semakin pekat kandungan molekul limonena dan allicin yang menguap ke udara, sehingga respons penolakan sistem kemoreseptor *Musca domestica* menjadi semakin kuat.

D. Evaluasi Organoleptik Hedonik Sediaan

Aseptabilitas konsumen/pengguna terhadap produk repellent sangat ditentukan oleh karakteristik organoleptik sediaan. Uji hedonik yang melibatkan 30 panelis menghasilkan dinamika tingkat kesukaan terhadap warna, aroma, dan kecepatan kering sediaan:

1. Atribut Warna: Skor kesukaan warna tertinggi diperoleh oleh sampel a_1b_1 dengan nilai 3,63 (kategori mendekati Suka). Sebaliknya, skor terendah didapatkan oleh sampel a_3b_3 dengan nilai 2,53 (kategori mendekati Tidak Suka). Penurunan penerimaan warna ini berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi ekstrak; sampel dengan konsentrasi tinggi (50%) menampilkan warna cokelat kehitaman yang pekat dan agak keruh sehingga kurang menarik secara visual. Uji RAK ANOVA mengonfirmasi adanya pengaruh yang signifikan dari variasi sampel terhadap penilaian warna ($F_{hitung} = 13,08 > F_{tabel} = 1,98$).
2. Atribut Aroma: Aspek keharuman sediaan memperoleh tingkat penerimaan paling tinggi pada sampel a_3b_1 (50% jeruk nipis : 10% bawang putih) dengan skor 4,53 (kategori sangat suka). Nilai terendah tercatat pada sampel a_1b_3 (10% jeruk nipis : 50% bawang putih) dengan skor 3,37 (kategori netral). Hal ini menunjukkan bahwa panelis cenderung lebih menyukai aroma segar sitrus yang

mendominasi dibandingkan dengan aroma sulfur menyengat dari bawang putih. Uji RAK ANOVA menunjukkan perbedaan aroma antar sampel bersifat signifikan ($F_{hitung} = 7,84 > F_{tabel} = 1,98$).

3. Atribut Kecepatan Kering (*Drying Speed*): Skor penilaian panelis terhadap durasi pengeringan sediaan berada pada rentang yang homogen, yaitu 2,70 hingga 2,87. Uji RAK ANOVA mengonfirmasi bahwa variasi sampel tidak berpengaruh signifikan terhadap kecepatan kering ($F_{hitung} = 0,34 < F_{tabel} = 1,98$). Hal ini wajar karena basis pengencer yang digunakan pada seluruh formulasi adalah akuades dalam jumlah dominan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis statistik yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Kombinasi ekstrak perikarp jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) dan ekstrak umbi bawang putih (*Allium sativum*) terbukti efektif bertindak sebagai agen repellent nabati dalam menolak keberadaan lalat rumah (*Musca domestica*).
2. Terdapat hubungan berbanding lurus antara tingkat konsentrasi ekstrak dan efektivitas penolakan lalat. Sebaliknya, kenaikan konsentrasi ekstrak kulit jeruk nipis menyebabkan penurunan nilai pH sediaan (semakin asam), meskipun tetap berada pada kisaran aman untuk kulit (pH 4,52–5,21).
3. Formulasi sediaan terbaik dicapai oleh sampel a_3b_3 (rasio 50% ekstrak kulit jeruk nipis : 50% ekstrak bawang putih), yang menghasilkan persentase daya tolak tertinggi sebesar 76,67%. Formulasi ini memenuhi kriteria standar keberhasilan biopestisida mengacu pada SNI 6729:2025 (efektivitas $\geq 65\%$).
4. Uji *Two-Way ANOVA* membuktikan bahwa ekstrak kulit jeruk nipis dan ekstrak bawang putih masing-masing memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap daya tolak. Namun, interaksi antara kedua faktor bersifat tidak signifikan ($p > 0,05$), yang mengindikasikan bahwa mekanisme kerja gabungan kedua bahan aktif bersifat aditif, bukan sinergis.
5. Sifat aditif yang ditemukan pada kombinasi ekstrak kulit jeruk nipis dan bawang putih berbeda dengan pola sinergis yang dilaporkan pada kombinasi ekstrak daun kemangi dan piretrum terhadap *Musca domestica* (Tanian dkk., 2023), yang menegaskan bahwa sifat interaksi antar-ekstrak nabati bersifat spesifik terhadap pasangan senyawa aktif yang dikombinasikan, bukan merupakan pola umum yang berlaku pada seluruh formulasi repellent nabati.

B. Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan riset ini di masa mendatang, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan eksplorasi penelitian lanjutan mengenai formulasi kombinasi kedua ekstrak dengan variasi konsentrasi yang lebih tinggi atau spesifik di luar rentang interval yang telah diuji dalam penelitian ini.
2. Diperlukan kajian teknis mengenai aplikasi metode dekolonisasi menggunakan agen adsorben seperti karbon aktif guna memperbaiki kejernihan dan intensitas warna gelap ekstrak, sehingga meningkatkan estetika visual dan preferensi konsumen tanpa mengoksidasi kandungan fitokimia bioaktifnya (Saepudin dkk., 2025).
3. Perlu dilakukan pengujian stabilitas sediaan (*shelf-life test*) dan uji daya simpan aroma untuk mengetahui durasi efektivitas repellent selama masa penyimpanan jangka panjang.
4. Perlu dikaji pengembangan formulasi sediaan dalam bentuk nanoemulsi untuk meningkatkan stabilitas fisik, homogenitas, dan daya simpan repellent kombinasi ekstrak kulit jeruk nipis dan bawang putih, mengingat pendekatan nanoemulsi telah terbukti efektif meningkatkan kestabilan fisik sediaan berbasis ekstrak nabati lain (Redhita dkk., 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Alpian, A., & Puspita, D. (2024). Efektivitas Ekstrak Kulit Jeruk Nipis (*Citrus × Aurantiifolia*) dan Larutan Garam sebagai Repellent Semprot terhadap Lalat Rumah (*Musca Domestica*). *Insan Cendekia Journal of Science*, 45–51.
- Arizona. (2019). Studi Pembuatan Marshmallow dengan Variasi Konsentrasi Gelatin dan Sukrosa. *Agrotech*, 11–17.
- Ernawati, H. R., dkk. (2023). Budidaya Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*). Jakarta: Pertanian Express.
- Fadilla, dkk. (2025). Formulasi dan Uji Mutu Fisik Sediaan Lulur (Scrub) Ekstrak Kulit Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*) dan Beras Putih (*Oryza Sativa*). *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 4243–4256.
- Firyanto, R., & Sriatun, M. (2021). Efektivitas Pestisida Organik Ekstrak Kulit Jeruk Nipis terhadap Kematian Jangkrik. *Inovasi Teknik Kimia*, 85–88.
- Hidayat, A. P., dkk. (2025). Perbandingan Ekstrak Daun Sirih (*Piper Betle L.*) dan Ekstrak Daun Srikaya (*Annona Squamosa L.*) dalam Mematikan Lalat Rumah (*Musca Domestica*). *Window of Public Health Journal*, 660–669.
- Hujatusnaini, N., dkk. (2021). Buku Referensi Ekstraksi. Palangka Raya: Institut Agama Islam Palangka Raya.
- Ilham Fauzul Fahmi, & Sudarti, R. (2022). Efektivitas Ekstrak Bawang Putih (*Allium sativum*) sebagai Repellent Lalat Rumah (*Musca domestica*). *Ikesma: Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 251–258.

- Kasim, M. A., dkk. (2025). Profil Fitokimia dan Kromatografi Lapis Tipis Kulit Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) dalam Bentuk Ekstrak Maserasi, Rendaman, dan Perasan. *Jurnal Ilmiah: J-HESTECH*, 157–168.
- Purnama, G., & Garmini. (2024). Effectiveness of Lime Leaves (*Citrus aurantifolia*) as a Natural Mosquito Repellent. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 117–121.
- Redhita, L. A., Beandrade, M. U., Putri, I. K., & Anindita, R. (2022). Formulasi dan Evaluasi Nanoemulsi Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dengan Variasi Konsentrasi Tween 80. *Jurnal Mitra Kesehatan (JMK)*, 4(2), 80–91.
- Saepudin, dkk. (2025). Effect of Activated Carbon Decolorization on Color Intensity and Total Phenolic Content of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Leaf Extract. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 657–663.
- Satoto, T. B. T., dkk. (2023). *Lalat (Diptera): Peran dan Pengendalian Lalat di Bidang Kesehatan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Setiawan, dkk. (2023). Identification of Essential Oil Components from the Peels of Lime (*Citrus aurantifolia*) and Kaffir Lime (*Citrus hystrix*) Based on Growing Altitude Using GC-MS. *IJES: Indonesian Journal of Environmental Sustainability*, 133–145.
- Tanian, M. A., Rumiati, F., & Susilowati, R. P. (2023). Uji Neurotoksin Insektisida Berbahan Ekstrak Daun Kemangi dan Piretrum terhadap Mortalitas Lalat Rumah (*Musca domestica*). *Jurnal Kedokteran Meditek*, 29(3), 283–291.
- Yadnya, I. P. D. K., Azmi, F., Andriana, A., & Taufiq, A. V. W. (2023). Efektivitas Kombinasi Ekstrak Daun Jeruk Nipis dan Perasan Buah Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) terhadap Mortalitas Kutu Rambut (*Pediculus humanus var capitis*). *Nusantara Hasana Journal*, 2(11), 101–111.
- SNI 01-7085-2005. (2005). *Simplisia Kencur*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2588:2017. (2017). *Sabun Cair Pembersih Tangan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 6729:2025. (2025). *Sistem Pertanian Organik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.