

**ANALISIS MORTALITAS DAN KEMAMPUAN MAKAN KUTU KANDANG
Alphitobius diaperinus AKIBAT TERPAPAR EKSTRAK BIJI MAHONI
DAN BIJI PEPAYA**

L Afifah^{1*}, P Widiyaningrum¹

¹Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Semarang
Jl. Raya Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

*Email: laelatulafifah205gmail.com

ABSTRAK

Biji mahoni dan biji pepaya mengandung senyawa metabolit sekunder alkaloid, tanin, steroid dan fenolik yang dimanfaatkan sebagai insektisida nabati. Penelitian ini bertujuan menganalisis mortalitas dan kemampuan makan *Alphitobius diaperinus* yang terpapar ekstrak biji mahoni dan biji pepaya. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Uji mortalitas menggunakan 6 perlakuan ekstrak dengan konsentrasi 0%,20%,40%,60%,80% dan 100% dengan 4 kali ulangan selama 3x24 jam. Uji penghambatan konsumsi pakan digunakan 6 perlakuan ekstrak dengan konsentrasi 0%,10%,20%,30%,40% dan 50% dengan 5 kali ulangan selama 4 minggu. Data mortalitas di analisis deskriptif dan analisis probit untuk menentukan nilai LC50 dan LC90. Data penghambatan konsumsi pakan dianalisis menggunakan one-way ANOVA dan uji lanjut LSD. Feeding Deterrent Index (FDI) dihitung untuk mengetahui seberapa kuat efek antifeedant dari kedua ekstrak. Hasil penelitian menunjukkan ekstrak biji mahoni memberi efek mortalitas lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak biji pepaya. Nilai LC50 dan LC90 ekstrak biji mahoni berturut-turut 43,060% dan 47,735%. Nilai LC50 dan LC90 ekstrak biji pepaya berturut-turut 70,225% dan 72,911%. Perbedaan konsentrasi ekstrak berpengaruh terhadap konsumsi pakan, dan semakin tinggi konsentrasi ekstrak maka semakin tinggi pula kemampuan penghambatan pakan. Berdasarkan nilai FDI, ekstrak biji mahoni memberikan efek penghambatan konsumsi pakan kategori sedang, sedangkan ekstrak biji pepaya memberi efek kategori rendah.

Kata Kunci: ekstrak, biji, insektisida, mahoni, pepaya

PENDAHULUAN

Serangga lebih banyak dikenal sebagai hama baik hama pertanian, perkebunan bahkan hama peternakan. Ordo dari serangga yang dapat berpotensi sebagai hama diantaranya ordo Lepidoptera, Coleoptera dan Hemiptera (Rimbing, 2015). Bidang peternakan tidak luput dari efek negatif serangga, salah satunya adalah kutu kandang (*Alphitobius diaperinus*) yang umumnya ditemukan di lingkungan peternakan ayam. Kutu kandang merupakan serangga yang menjadi vektor bagi bakteri ataupun jamur. Pengendalian populasi kutu kandang dilakukan dengan menggunakan insektisida sintesis seperti cyfluthrin, tetrachlorvinphos, imidakloprid, spinosad, atau chlorfenapyr (Singh & Johnson, 2015). Penggunaan insektisida sintetik dalam jangka waktu yang lama juga terbukti menimbulkan resistensi pada hama, munculnya hama sekunder, dan pencemaran lingkungan (Koneri, 2016)

Oleh karena itu perlu adanya eksplorasi sumber-sumber insektisida nabati potensial. Efek yang ditimbulkan dari penggunaan insektisida nabati antara lain seperti efek pengusir (Repellent), mengurangi nafsu makan (Antifeedant), menghambat proses reproduksi, serta mengganggu proses metamorfosis serangga seperti merusak perkembangan telur, larva dan pupa, serta menghambat pergantian kulit (Saenong, 2016). Bagian tanaman yang berpotensi sebagai bioinsektisida adalah biji-bijian seperti biji mahoni (*Swietenia mahagoni*) dan biji pepaya (*Carica papaya*). Bagian biji, daun ataupun kulit pada tanaman mengandung bahan

alami yang berfungsi sebagai larvasida, yaitu golongan sianida, saponin, tannin, flavonoid, alkaloid, steroid dan minyak atsiri (Iskandar *et al.*, 2017).

METODE

Pembuatan Ekstrak

Biji pepaya dan biji mahoni dikeringkan terlebih dahulu kemudian ditumbuk hingga halus kemudian diberikan pelarut etanol dengan perbandingan etanol 95% dan serbuk (w/v) adalah 1:5. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi selama 3x24 jam. Hasil ekstraksi kemudian dilanjutkan dengan proses pemekatan atau penguapan pelarut menggunakan *rotary evaporator* hingga ekstrak menjadi pekat dan sedikit mengandung etanol. Ekstrak pekat ini diasumsikan sebagai ekstrak konsentrasi 100%, dan akan digunakan untuk uji coba dan analisis fitokimia.

Preparasi Serangga Uji

Indukan kutu kandang diaklimasi dengan menyiapkan toples besar dengan media sekam dan pakan ayam pedaging kemudian diletakkan kapas atau styrofoam. Indukan kutu kandang diletakkan pada toples dan diberikan pakan ayam. kelembaban dijaga dengan menyemprot atau meneteskan air di bagian styrofoam setiap 2-3 hari sekali.

Uji Mortalitas Kutu Kandang

Ekstrak biji pepaya dan ekstrak biji mahoni disiapkan dalam 6 level konsentrasi yaitu 0, 20, 40, 60, 80, 100% dan aquades sebagai pengencer dengan total 5 kali ulangan dan jumlah total kutu kandang ada 600 ekor. Sebanyak 200 μ L ekstrak di tiap konsentrasi diteteskan ke salah satu sisi di dalam toples (diameter 5cm, tinggi 4,5cm). Kemudian 10 ekor kutu kandang dimasukkan ke dalam toples agar terjadi kontak langsung antara kutu dengan ekstrak. Setiap toples perlakuan kemudian ditambahkan 5 gram pakan bentuk crumble di bagian sisi dalam yang lain. Setiap 24 jam diamati dan dicatat jumlah larva yang mati. Pencatatan dilakukan pada masa 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Mortalitas di hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$M = \frac{r}{n} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan

M = Mortalitas

r = Jumlah larva yang mati

n = Jumlah larva keseluruhan

Data hasil pengamatan mortalitas disajikan dalam gambar grafik batang dan dianalisis secara deskriptif. data mortalitas pada kurun waktu 72 jam dianalisis menggunakan analisis Probit untuk mendapatkan nilai Lethal Concentration (LC50 dan LC90) dengan alat bantu program SPSS.

Pengamatan Konsumsi Pakan

Pengujian konsumsi pakan digunakan perlakuan konsentrasi ekstrak 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dengan masing masing 4 kali ulangan dengan total kutu kandang 1200 ekor. Kutu uji diletakkan ke dalam toples yang telah ditetesi 500 μ L ekstrak sesuai konsentrasi

perlakuan dengan masing-masing 25 ekor. Ekstrak dengan berbagai konsentrasi yang sebelumnya sudah diteteskan pada tisu kemudian didiamkan selama 1 menit, setelah itu pakan sebanyak 5 gram baru dimasukan ke dalam toples. Penimbangan sisa pakan dilakukan satu minggu sekali dengan cara diayak terlebih dahulu sebelum ditimbang dengan total pengamatan selama 4 minggu. Konsumsi pakan larva uji dihitung berdasarkan selisih berat pakan di awal perlakuan dengan berat pakan di akhir perlakuan dalam satuan miligram. Selain menghitung konsumsi pakan, juga diukur seberapa kuat efek ekstrak terhadap penghambatan kemampuan makan kutu kandang berdasarkan Feeding Deterrent Index (FDI) (Liu *et al*, 2007 dalam Widiyaningrum *et al.*, 2020). FDI dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$FDI (\%) = \frac{C-T}{C} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

FDI = Feeding Deterrent Index

C = jumlah pakan kelompok kontrol

T = jumlah pakan kelompok perlakuan

Hasil perhitungan FDI kemudian dikonversikan kedalam kriteria kualitatif sebagai berikut.

FDI < 30%: Tidak ada efek antifeedant (-)

50% > FDI ≥ 30%: Antifeedant rendah (+)

70% > FDI ≥ 50%: Antifeedant sedang (++)

FDI ≥ 70%: Antifeedant kuat (+++)

Data rata-rata konsumsi pakan dianalisis statistik oneway ANOVA. Jika hasil analisis menunjukkan pengaruh signifikan ($\alpha \leq 0.05$) akan dilanjutkan uji LSD. Efek antifeedant dianalisis deskriptif berdasarkan nilai FDI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Fitokimia Ekstrak

Hasil uji fitokimia mengindikasikan ekstrak biji mahoni dan biji pepaya memiliki kandungan yang sama yaitu alkaloid, steroid, fenolik dan tanin. Salim *et al.* (2018) menyatakan bahwa kandungan senyawa aktif tertinggi pada biji pepaya adalah tanin sebanyak, 0,7213%, fenol 0,6799%, saponin 0,2468%, dan flavonoid 0,124%. Penelitian yang dilakukan oleh Koneri *et al.* (2016) menunjukkan dalam 100 gram serbuk biji mahoni mengandung flavonoid 0,394%, alkaloid 0,178%, saponin 0,033%, steroid 0,014% dan terpenoid 0,028%.

Deteksi kandungan senyawa metabolit sekunder pada tanaman dapat menunjukkan hasil yang beragam meskipun dari jenis dan bagian tanaman yang sama. Menurut Mishra (2016) faktor lingkungan yaitu suhu, kelembaban, intensitas cahaya, air, mineral dan CO₂ mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan produksi metabolit sekunder sehingga setiap tanaman akan berbeda kandungan dan kadar senyawa metabolit sekundernya tergantung dimana habitat tanaman itu tumbuh. Konsentrasi pelarut yang digunakan pada saat

maserasi juga berpengaruh terhadap komponen senyawa metabolit sekunder yang terikat. Penggunaan etanol 96% akan lebih efektif untuk mengikat komponen polifenol dan juga tanin Rahmi *et al.* (2021). Pelarut etanol 70% merupakan konsentrasi pelarut optimum berdasarkan total kandungan flavonoid dan total fenolik (Ngo *et al.*, 2017). 50% EtOH, 70% EtOH dan aseton merupakan pelarut pilihan terbaik untuk ekstraksi ekstrak kaya senyawa fenolik (Dirar *et al.*, 2019).

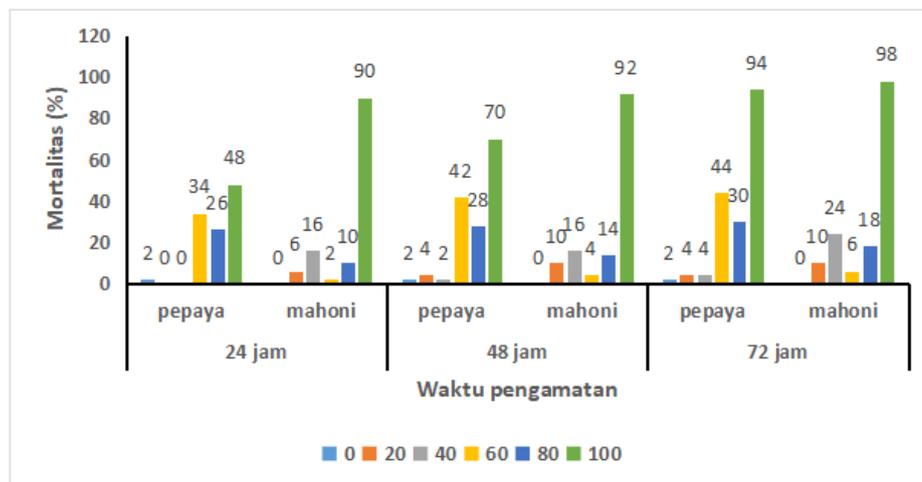
Tabel 1. Hasil analisis fitokimia ekstrak biji mahoni dan biji pepaya

No.	Parameter	Hasil	
		Mahoni	Pepaya
1.	Alkaloid	+	+
2.	Steroid	+	+
3.	Terpenoid	-	-
4.	Flavonoid	-	-
5.	Fenolik	+	+
6.	Saponin	-	-
7.	Tanin	+	+

Uji Mortalitas

Uji mortalitas pada pengamatan 24 jam menunjukkan persentase kematian kutu kandang masih rendah, satu-satunya yang telah mencapai 90% terjadi pada perlakuan ekstrak biji mahoni konsentrasi 100%. Berbeda dengan ekstrak mahoni, perlakuan konsentrasi 100% ekstrak biji pepaya dalam 24 jam baru menyebabkan kematian sebesar 48%, pada pengamatan 48 jam, mortalitas mencapai 70%, dan pada pengamatan 72 jam mencapai 92%.

Hasil uji mortalitas pengamatan 72 jam, kematian kutu yang terpapar ekstrak biji mahoni dan biji pepaya menunjukkan persentase yang cukup tinggi. Berdasarkan analisis probit diketahui LC50 dan LC90 ekstrak biji mahoni terhadap kutu kandang adalah pada konsentrasi 43% dan 47.7%. Artinya, dengan menggunakan konsentrasi 43% ekstrak biji mahoni, dapat membunuh 50% populasi kutu kandang, atau dengan ekstrak konsentrasi 47%, dapat membunuh 90% kutu kandang dalam waktu 72 jam. Adapun pada ekstrak biji pepaya, LC50 adalah pada konsentrasi 70,225% dan LC90 pada konsentrasi 72,911%. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tanaman memiliki aktivitas yang luas yang dapat mempengaruhi serangga pada tingkat sel, jaringan dan organ. Chowański *et al.* (2016) mengemukakan pengaruh fisiologis meliputi perubahan subletal dalam berbagai jaringan dan organ, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kematian. Metabolit sekunder yang ada pada tanaman dapat bekerja secara sinergis dalam mengatasi serangga. Isman (2002) dalam Arivoli & Tennyson (2020) melaporkan bahwa efek sinergis dari campuran senyawa fitokimia yang ada pada ekstrak tanaman berperan penting sebagai solusi pertahanan terhadap serangga. Beberapa senyawa, baik secara terpisah atau sinergis, memberikan sifat anti-makan, toksisitas, atau bertindak sebagai prekursor sistem pertahanan fisik.



Gambar 2. Persentase Mortalitas Kutu Kandang Setelah Terpapar Ekstrak

Tabel 2. Tabel Estimasi LC_{50} dan LC_{90} Ekstrak Biji Mahoni dan Biji Pepaya

Estimasi	Ekstrak	
	Biji Mahoni	Biji Pepaya
LC_{50}	43.060	70.225
- Batas atas	54.035	78.345
- Batas bawah	22.206	41.453
LC_{90}	47.735	72.911
- Batas atas	58.138	80.431
- Batas bawah	27.396	46.864

Beberapa jenis senyawa metabolit sekunder menargetkan sitoskeleton sel atau mengganggu proses pembelahan sel (Divekar *et al.*, 2022). Kematian yang terjadi diakibatkan oleh kandungan senyawa metabolit sekunder. Menurut Jing *et al.* (2012) Sterol mempengaruhi reproduksi serangga dengan dua cara yaitu jika sterol yang dikonsumsi serangga terlalu rendah makan akan berdampak negatif pada rerproduksi dan jika sterol yang diberikan dalam jumlah yang terlalu tinggi hal ini juga akan berdampak negatif bagi reproduksi serangga. Tanin memberikan efek toksik yang dapat mengikat mengikat protein saliva dan enzim pencernaan termasuk tripsin dan kimotripsin yang mengakibatkan inaktivasi protein sehingga serangga mati secara perlahan kelaparan. Campuran kompleks senyawa sekunder dalam ekstrak tumbuhan berkontribusi besar untuk sinergisme, yang meningkatkan aksi bersama senyawa aktif melawan serangga dan mengurangi laju perkembangan resistensi (Mohammed, 2014)

Kandungan fenol pada biji mahoni dan biji pepaya merupakan golongan polifenol yang dapat menyebabkan penghambatan konsumsi pakan. Oksidasi fenol akan membuat pembentukan kuinon yang mengikat secara kovalen pada protein daun dan menghambat pencernaan protein pada herbivora atau serangga yang mengkonsumsi bagian tanaman yang mengandung fenol (Easwar *et al.*, 2017). Alkaloid dapat menyebabkan kematian akibat gangguan saraf pusat (Matsuura & Fett-Neto, 2015). Alkaloid dapat membuat asetilkolin

mengalami peningkatan dan mencegah enzim asetilkolinesterase memecah asetilkolin yang menyebabkan depolarisasi karena perpindahan ion Na^+ membuat asetilkolin tidak dapat dipecah sehingga akan tertimbun pada sinapsis. Hal ini berakibat kelebihan ion positif pada membran sehingga terjadi gangguan pada sistem penghantaran impuls ke sel sel otot serangga sehingga akan mengalami kejang secara terus menerus dan kelumpuhan hingga kematian.

Biji mahoni memiliki tingkat toksisitas lebih baik karena tergolong kedalam Famili Meliaceae yang memiliki kandungan limonoid. Limonoid merupakan turunan dari Azadirachtin yang berperan sebagai antifeeding yang dapat mempengaruhi nafsu makan (Telrandhe *et al.*, 2022). Mekanisme aksi Azadirachtin akan berpengaruh terhadap metabolisme hormon di otak serangga (Fathoni *et al.*, 2013). Penelitian yang dilakukan oleh (Farder-Gomes *et al.*, 2022) dengan menguji Biopestisida berbasis azadirachtin pada *Anticarsia gemmatalis* mengindikasikan adanya penurunan konsumsi makan dan perubahan hispatologi Usus tengah.

Penghambatan konsumsi pakan

Hasil analisis data menunjukkan data berdistribusi secara normal dengan nilai signifikan $P > 0,05$ Berdasarkan hasil uji One-way ANOVA menunjukkan hasil taraf signifikansi $< 0,05$ yang berarti ekstrak biji mahoni berpengaruh terhadap penurunan konsumsi pakan kutu kandang. Hasil uji Oneway Anova ekstrak biji pepaya menunjukkan hasil yang sama yaitu signifikansinya $< 0,05$ sehingga dapat dikatakan ekstrak biji pepaya juga berpengaruh pada penghambatan makan kutu kandang. Untuk melihat perbedaan pengaruh konsentrasi masing-masing ekstrak terhadap kutu kandang, maka dilakukan uji lanjut LSD (Tabel 3).

Tabel 3. Tabel Rata-rata konsumsi pakan *A. diaperinus* selama 4 minggu

Perlakuan Konsentrasi Ekstrak (%)	Rata-Rata Konsumsi Pakan (mg/ekor/minggu)	
	Biji Pepaya	Biji Mahoni
0	12.95 ^a	13.56 ^a
10	11.53 ^a	9.38 ^b
20	10.00 ^b	9.67 ^b
30	9.39 ^b	9.10 ^b
40	9.16 ^b	7.69 ^b
50	6.13 ^c	4.94 ^c
Rata-rata ^{ns}	9.86	9.07

Keterangan. Huruf superskrip yang berbeda dalam kolom rata rata menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada taraf 5% berdasarkan uji LSD. Superskrip huruf 'ns' pada baris rata-rata artinya tidak ada perbedaan

Berdasarkan hasil uji LSD untuk perlakuan ekstrak biji pepaya, terlihat konsumsi pakan pada konsentrasi 0% dan 10% tidak menunjukkan perbedaan. Demikian pula konsumsi pakan pada konsentrasi 20%,30% dan 40% tidak ada perbedaan, tetapi ketiganya berbeda nyata dibanding kontrol. Pada konsentrasi 50%, nilai rata-rata konsumsi pakan yang paling sedikit dan berbeda secara signifikan dibanding konsentrasi yang lain. Terlihat

ada kecenderungan semakin tinggi konsentrasi ekstrak semakin sedikit konsumsi pakan.

Hasil uji LSD untuk ekstrak biji mahoni, memperlihatkan bahwa konsumsi pakan pada perlakuan konsentrasi 10%,20%,30% dan 40% tidak berbeda nyata. Sedangkan konsumsi pakan pada perlakuan konsentrasi 0% berbeda nyata dengan konsentrasi lain begitu juga pada konsentrasi 50%. Pada penelitian ini, pemakaian ekstrak konsentrasi 50% menunjukkan rata-rata konsumsi pakan kutu kandang yang paling rendah dibanding kontrol. Rata-rata konsumsi pakan kutu kandang pada konsentrasi 50% ekstrak biji mahoni memiliki rata-rata lebih kecil dibandingkan ekstrak biji pepaya.

FDI pada biji mahoni dan biji pepaya menunjukkan adanya peningkatan selaras dengan konsentrasi ekstrak (Tabel 4). Berpedoman pada kriteria kualitatif oleh Liu *et al.* (2007) dalam Widiyaningrum *et al.* (2020) ekstrak biji mahoni pada konsentrasi 10% sudah menunjukkan efek penghambatan konsumsi pakan atau antifeedant rendah dengan persentase FDI 30,8%. Pada konsentrasi 50% efek antifeedant masuk kategori sedang dengan persentase 63,5%. Pada ekstrak biji pepaya mulai menunjukkan efek antifeedant kategori rendah pada konsentrasi 50% dengan nilai FDI 52,6 %. Dengan demikian ekstrak biji mahoni memberikan efek antifeedant lebih baik dibandingkan ekstrak biji pepaya.

Tabel 4. Nilai FDI ekstrak biji mahoni dan biji pepaya

No.	Ekstrak	Konsentrasi (%)	FDI (%)
1.	Mahoni	10	30,8
		20	28,7
		30	32,9
		40	43,3
		50	63,5
2.	Pepaya	10	10,9
		20	22,8
		30	27,5
		40	29,3
		50	52,6

Mohammed (2014) melaporkan golongan senyawa metabolit sekunder yang dapat menghambat kemampuan makan serangga atau memiliki aktivitas antifeedant dari tanaman adalah fenol, alkaloid, quassinoid, chromenes, saponin, polyacetylenes, cucurbitacins, asam siklopropanoid, terpenoid dan turunannya. Siamtuti *et al.* (2017) menyebutkan senyawa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas antifeedant kuat adalah tanin yang bertindak sebagai antinutrient dan inhibitor enzim yang dapat menyebabkan serangga mengalami kelaparan hingga kematian.

Tanin masuk dengan cara kontak langsung atau melalui saluran pernapasan akan mengikat protein pada ludah serangga dan enzim pencernaan yaitu tripsin dan kimotripsin, sehingga menyebabkan keracunan pada serangga (Abubakar *et al.*, 2019). Pengikatan tanin dengan protein pada saliva dapat mengakibatkan penurunan daya cerna protein makanan, penghambatan enzim pencernaan dan kemungkinan penolak rasa dan astringency (Torawane *et al.*, 2020). Efek astringen yang ditimbulkan membuat kutu kandang tidak bisa mengkonsumsi pakan secara maksimal sehingga lama kelamaan akan terjadi kelaparan

dan kematian kutu kandang. Kandungan fenol akan membuat pembentukan kuinon yang mengikat secara kovalen pada protein daun dan menghambat pencernaan protein pada herbivora atau serangga (Easwar *et al.*, 2017). Kandungan alkaloid pada ekstrak biji mahoni dan biji pepaya berperan sebagai pertahanan yang dapat menimbulkan rasa pahit, gangguan fungsi protein setelah konsumsi dan metabolisme, dan perubahan sistem saraf pusat (Matsuura & Fett-Neto, 2015).

Azadirachtin pada ekstrak biji mahoni dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, antifeedant dan juga gangguan proses molting serangga. Perilaku makan pada serangga tergantung pada input saraf yang diterima dari sensor kimia serangga, misalnya reseptor rasa di bagian mulut, tarsi dan rongga mulut (Telrandhe *et al.*, 2022). Sensor ini mengintegrasikan kode sensorik yang dikirim ke sistem saraf pusat. Antifeedancy oleh azadirachtin terjadi melalui stimulasi sel pencegah di kemoreseptor ini dan dengan menghalangi stimulasi makan pada serangga yang menyebabkan penurunan efisiensi pencernaan setelah menelan yang disebabkan oleh gangguan pada sistem hormonal dan fisiologis (Chaudhary *et al.*, 2017). Hal ini yang menyebabkan ekstrak biji mahoni memiliki nilai FDI lebih tinggi dibandingkan ekstrak biji pepaya.

KESIMPULAN

Analisis fitokimia secara kualitatif menunjukkan bahwa ekstrak biji mahoni dan biji pepaya positif mengandung alkaloid, steroid, tanin, dan fenolik yang memiliki efek toksik dan berpotensi sebagai bioinsektisida. Ekstrak biji mahoni memberikan efek mortalitas dan penghambatan makan lebih baik terhadap kutu kandang *A. diaperinus*, dibandingkan ekstrak biji pepaya. Nilai LC₅₀ dan LC₉₀ ekstrak biji mahoni berada pada konsentrasi 43,060% dan 47,735%, sedangkan ekstrak biji pepaya pada konsentrasi 70,225% dan 72,911%. Berdasarkan nilai FDI, ekstrak biji mahoni mempunyai efek antifeedant kategori sedang, lebih baik dibanding ekstrak biji pepaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, Y., Tijjani, H., Egbuna, C., Adetunji, C. O., Kala, S., Kryeziu, T. L., & Patrick-Iwuanyanwu, K. C. (2019). Pesticides, history, and classification. *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control*, 29–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819304-4.00003-8>
- Arivoli, S., & Tennyson, S. (2020). Antifeedant activity of leaf extracts against *Spodoptera litura* Fabricius 1775 (Lepidoptera: Noctuidae) highlighting the mechanism of action. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal*, 20(4), 67–80.
- Chaudhary, S., Kanwar, R. K., Sehgal, A., & Cahill, D. M. (2017). Progress on *Azadirachta indica* Based Biopesticides in Replacing Synthetic Toxic Pesticides. *Biopesticides to Replacing Synthetic Toxic Pesticides*, 8(May), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00610>
- Chowański, S., Adamski, Z., Marciniak, P., Rosiński, G., Büyükgüzel, E., Büyükgüzel, K., Falabella, P., Scrano, L., Ventrella, E., Lelario, F., & Bufo, S. A. (2016). A review of bioinsecticidal activity of *Solanaceae* alkaloids. *Toxins*, 8(3), 1–28. <https://doi.org/10.3390/toxins8030060>
- Divekar, P. A., Narayana, S., Divekar, B. A., Kumar, R., Gadratagi, B. G., Ray, A., Singh, A. K., Rani, V., Singh, V., Singh, A. K., Kumar, A., Singh, R. P., Meena, R. S., & Behera, T. K. (2022). Plant Secondary Metabolites as Defense Tools against Herbivores for

Sustainable Crop Protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5). <https://doi.org/10.3390/ijms23052690>

- Easwar Rao, D., Divya, K., Prathyusha, I. V. S. N., Rama Krishna, C., & Chaitanya, K. V. (2017). Insect-Resistant Plants. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Crop Modification, Nutrition, and Food Production*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63661-4.00003-7>
- Farder-Gomes, C. F., Saravanan, M., Martínez, L. C., Plata-Rueda, A., Zanuncio, J. C., & Serrão, J. E. (2022). Azadirachtin-based biopesticide affects the respiration and digestion in *Anticarsia gemmatalis* caterpillars. *Toxin Reviews*, 41(2), 466–475. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1892764>
- Fathoni, M., Yanuwadi, B., & Leksono, A. S. (2013). The effectiveness of combination Mahogany (*Swietenia mahogany*) seed and Sour Sup (*Annona muricata*) leaf pesticide to the time of stop feeding and LC50 mortality on armyworm (*Spodoptera litura* F.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 3(11), 71–77. <http://www.innspub.net/wp-content/uploads/2013/10/JBES-Vol3No11-p71-77.pdf> <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143050520>
- Iskandar, I., Horiza, H., & Fauzi, N. (2017). Efektivitas bubuk biji pepaya (*Carica Papaya Linnaeus*) sebagai larvasida alami terhadap kematian larva Eedes aegypti. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(01), 12–18. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss01/12>
- Jing, X., Grebenok, R. J., & Behmer, S. T. (2012). Plant sterols and host plant suitability for generalist and specialist caterpillars. *Journal of Insect Physiology*, 58(2), 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2011.11.013>
- Koneri, R. (2016). Uji Ekstrak Biji Mahoni (*Swietenia macrophylla*) terhadap Larva Aedes aegypti Vektor Penyakit Demam Berdarah. *The Indonesian Journal of Public Health*, 12(4), 216–223.
- Matsura, H. N., & Fett-Neto, A. G. (2015). Plant Alkaloids: Main Features, Toxicity, and Mechanisms of Action. *Plant Toxins*, January, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6728-7_2-1
- Mishra, T. (2016). Climate change and production of secondary metabolites in medicinal plants: A review Tulika Mishra. *International Journal of Herbal Medicine*, 4(4), 27–30.
- Mohammed, M. (2014). Prospect of Antifeedant Secondary Metabolites As Post. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(1), 8701–8708.
- Rahmi, N., Salim, R., Miyono, M., & Rizki, M. I. (2021). Pengaruh Jenis Pelarut dan Metode Ekstraksi Terhadap Aktivitas Antibakteri dan Penghambatan Radikal Bebas Ekstrak Kulit Kayu Bangkal (*Nauclea subdita*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 39(1), 13–26. <https://doi.org/10.20886/jphh.2021.39.1.13-26>
- Rimbing, S. C. (2015). Keanekaragaman Jenis Serangga Hama Pasca Panen Pada Beberapa Makanan Ternak Di Kabupaten Bolaang Mongondow. *Zootec*, 35(1), 164. <https://doi.org/10.35792/zot.35.1.2015.7225>
- Saenong, M. S. (2016). Tumbuhan indonesia potensial sebagai insektisida nabati untuk mengendalikan hama kumbang jagung (*Sitophilus* spp.). *Jurnal Litbang Pertanian*, 35(5), 131–142. <https://doi.org/10.21082/jp3.v35n3.2016.p131-142>
- Salim, A. N., Sumardianto, S., & Amalia, U. (2018). Efektivitas Serbuk Simplisia Biji Pepaya sebagai Antibakteri pada Udang Putih (*Penaeus merguensis*) Selama Penyimpanan Dingin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(2), 188. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i2.22836>
- Siamtuti, W. S., Aftiarani, R., Wardhani, Z. Kusuma, Alfianto, N., & Hartoko, I. V. (2017). Potensi Tannin Pada Ramuan Nginang. *Bioeksperimen*, 3(2), 83–93.
- Singh, N., & Johnson, D. (2015). Baseline Susceptibility and Cross-Resistance in Adult and Larval *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) Collected from Poultry Farms in Arkansas. *Journal of Economic Entomology*, 108(4), 1994–1999. <https://doi.org/10.1093/jee/tov133>
- Telrandhe, U. B., Kosalge, S. B., Parihar, S., Sharma, D., & Lade, S. N. (2022). Phytochemistry and Pharmacological Activities of *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae). *Scholars Academic Journal of Pharmacy*, 9531(1), 6–12. <https://doi.org/10.36347/sajp.2022.v11i01.002>

- Torawane, S. D., Suryawanshi, Y. C., & Mokat, D. N. (2020). Controlled release of functional bioactive compounds from plants. In *Encapsulation of Active Molecules and Their Delivery System*. INC. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819363-1.00006-5>
- Widiyaningrum, P., Indriyanti, D. R., Priyono, B., Asiyah, N., & Putri, P. L. F. (2020). Antifeedant effect of some medicinal plant extracts against rice weevil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(7), 953–958. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.953.958>