

<https://doi.org/10.17576/serangga-2025-3003-19>

**PENGARUH JENIS TANAH, SEMI-KLON DAN UMUR POKOK TERHADAP
PENGHASILAN SEBATIAN ESTRAGOL PADA BUNGA SAWIT**

*[INFLUENCE OF SOIL TYPE, SEMI-CLONE, AND TREE AGE ON ESTRAGOLE
PRODUCTION IN OIL PALM FLOWERS]*

**Muhamad-Fahmi Muhammad Halil¹, Dzulhelmi Muhammad Nasir², Wan Nurul ‘Ain
Wan Mohd Nor¹, Johari Jalinas^{1*}, Wan-Aida Wan Mustapha³, Mohd-Shahrul Mohd
Nadzir⁴, Irham Razak⁵, Nurul Fatimah Abd Latip⁶ & Idris Abdul Ghani¹**

¹Pusat Sistematik Serangga,
Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi,
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

²Jabatan Perlindungan Tanaman & Bio-penyelesaian,
FGV R&D Sdn. Bhd., PPP Tun Razak,
27000 Jerantut, Pahang, Malaysia.

³Jabatan Sains Makanan,
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

⁴Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar,
Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

⁵Biology and Ecology Research (BERes),
Fakulti Sains dan Alam Sekitar Marin,
Universiti Malaysia Terengganu,
21030 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia

⁶Fakulti Perladangan dan Agroteknologi,
Universiti Teknologi MARA,
Cawangan Perlis, Kampus Arau,
02600 Arau, Perlis.

*Pengarang Berutusan: johari_j@ukm.edu.my

Hantar: 9 Januari 2024; Terima: 13 November 2025; Terbitan: 15 Disember 2025

ABSTRAK

Estragol adalah salah satu sebatian kimia organik meruap (SKOM) yang merupakan hidrokarbon yang terbentuk melalui tindakbalas hasil interaksi antara tumbuhan dengan persekitarannya. Sebatian SKOM memainkan peranan penting dalam aktiviti pendebungaan, tumbesaran pokok serta perlindungan kepada tumbuhan terhadap perubahan keadaan persekitaran. Bunga sawit menghasilkan sebatian estragol yang bertujuan untuk menarik

kehadiran kumbang pendebunga, *Elaeidobius kamerunicus* bagi menjalankan aktiviti pendebungaan pada bunga. Kajian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh faktor abiotik dan biotik seperti jenis tanah, semi-klon serta umur pokok berbeza terhadap jenis dan jumlah SKOM yang dihasilkan bunga sawit. Selain itu, kajian ini juga menganalisis pengaruh faktor-faktor ini terhadap bunga sawit dalam penghasilan sebatian estragol. Hasil analisis kromatografi gas-spektrometri jisim (GC-MS) menunjukkan jenis dan jumlah bilangan SKOM yang dihasilkan bunga jantan dan bunga betina sawit adalah berbeza antara jenis tanah, semi-klon dan umur pokok. Perbandingan kepekatan estragol menunjukkan bahawa bunga sawit yang ditanam di tanah gambut dan daripada semi-klon B mempunyai min kepekatan estragol tertinggi secara signifikan ($P < 0.05$). Bunga sawit daripada pokok tertua, iaitu berumur lapan tahun, juga mencatatkan min kepekatan estragol tertinggi. Secara keseluruhan, faktor abiotik dan biotik memberi kesan yang signifikan terhadap sebatian kimia organik meruap (SKOM) dan penghasilan estragol oleh bunga sawit.

Kata Kunci: Sebatian Kimia Organik Meruap; hibrid; bunga sawit; estragol; faktor biotik; faktor abiotik

ABSTRACT

Estragole is one of the volatile organic compounds (VOCs), a hydrocarbon formed through interactions between plants and their environment. VOCs play an important role in pollination activities, plant growth, and protection of plants against changes in environmental conditions. Oil palm flowers produce estragole compounds to attract the pollinating weevils, *Elaeidobius kamerunicus*, to carry out pollination activities on the flowers. This study aims to determine the influence of abiotic and biotic factors, such as soil type, semi-clone, and different plant ages on the types and amounts of VOCs produced by oil palm flowers. In addition, this study also analyzes the influence of these factors on the production of estragole compounds in oil palm flowers. Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) analysis showed that the types and amounts of VOCs produced by male and female oil palm flowers differed according to soil type, semi-clone, and plant age. Comparison of estragole concentrations showed that palm flowers grown in peat soil and from semi-clone B had significantly ($P < 0.05$) the highest mean estragole concentration. Palm flowers from the oldest tree, which was eight years old, also recorded the highest mean estragole concentration. Overall, abiotic and biotic factors had a significant effect on volatile organic chemical compounds (VOCs) and estragole production by palm flowers.

Keywords: Volatile Organic Compounds; hybrid; oil palm flowers; estragole; biotic factor; abiotic factor

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman palma yang bergantung kepada serangga untuk menjalankan proses pendebungaan. Menariknya, tanaman ini mempunyai serangga pendebunga yang khusus iaitu kumbang *Elaeidobius kamerunicus*. Kehadiran kumbang *E. kamerunicus* yang dibawa dari Cameroon telah membantu meningkatkan hasil pengeluaran buah sawit apabila ia dibawa masuk dan diperkenalkan ke beberapa buah negara seperti Malaysia, Indonesia, dan Papua New Guinea (Zulkefli et al. 2020). Kumbang *E. kamerunicus* amat berkesan mendebungkan tanaman sawit kerana keupayaannya beradaptasi terhadap cuaca panas dan hujan dengan baik serta mampu memerangkap dan memindahkan butir debunga sawit dalam jumlah yang tinggi (Kouakou et al. 2014; Mohamad et al. 2023).

Aroma daripada bunga sawit merupakan salah satu faktor utama yang menarik kumbang *E. kamerunicus* untuk mendebugakan tanaman sawit (Lubis et al. 2023; Tandon et al. 2001). Aroma ini dikenal pasti berpunca daripada sebatian estragol; iaitu sebatian kimia organik meruap (SKOM) daripada kumpulan fenil yang dihasilkan oleh bunga sawit ketika bunga memasuki peringkat antesis. Estragol bersifat mudah meruap serta mempunyai aroma yang kuat dan wangi serta mampu bertindak menarik pelbagai jenis serangga terutamanya daripada order Coleoptera (Filho et al. 2019; Joseph et al. 2001; Snyder & Bower 2005).

Faktor abiotik dan biotik amat mempengaruhi tumbuhan dalam penghasilan SKOM seperti penghasilan estragol (Loreto et al. 2014; McCormick et al. 2023; Prasetyo et al. 2024). Faktor seperti jenis tanah, semi-klon dan umur pokok didapati mampu memberi kesan ke atas aktiviti pertumbuhan dan metabolisme pokok (Farneti et al. 2012; Ormeño et al. 2008; Wason & Hunter 2014; Yunanto et al. 2022). Perbezaan sifat fizikal dan kimia tanah mempengaruhi penyerapan nutrien dan metabolisme sekunder pokok sawit (Ajeng et al. 2020) dan seterusnya dapat memberi kesan penghasilan bunga sawit (Prasetyo et al. 2024). Manakala, variasi genetik antara semi-klon boleh menyebabkan perbezaan fisiologi dan biokimia (Méndez et al. 2012) dan memberi kesan penghasilan kualiti bunga (Filipović et al. 2023). Tahap perkembangan pokok sawit pada umur berbeza mempengaruhi penghasilan bunga sawit serta memberi kesan kepada aktiviti dan populasi serangga *E. kamerunicus* (Prabowo et al. 2021).

Sepanjang tiga dekad yang lalu (1990–2020), hasil tahunan kelapa sawit di Malaysia telah menunjukkan perubahan yang ketara, dengan peningkatan dan penurunan yang jelas dari tahun ke tahun (Abubakar et al. 2020). Perubahan ini mungkin disebabkan oleh pelbagai faktor yang mempengaruhi penghasilan SKOM terutamanya estragol yang memainkan peranan penting dalam menarik kumbang pendebunga *E. kamerunicus* pada bunga sawit. Namun, kajian terperinci tentang perkaitan faktor-faktor tersebut dengan penghasilan estragol masih terhad. Oleh itu, objektif kajian ini dijalankan ialah untuk menentukan pengaruh faktor-faktor abiotik dan biotik, seperti jenis tanah, semi-klon, dan umur pokok, terhadap penghasilan estragol dalam bunga sawit. Kajian ini menggunakan kaedah kromatografi gas-spektrometri jisim (GC-MS) bagi mengukur secara kuantitatif kandungan kepekatan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit jantan dan bunga betina sawit, serta menilai perbezaan penghasilan estragol di bawah variasi faktor-faktor tersebut.

BAHAN DAN KAEDAH

Pensampelan Pengekstrakan Bunga Sawit

Kajian ini melibatkan persampelan bunga sawit di beberapa kawasan ladang sawit yang berlainan yang dipilih berdasarkan faktor jenis tanah, semi-klon sawit dan umur pokok sawit yang berbeza. Bunga sawit terdiri daripada bunga jantan dan bunga betina pada peringkat pra-antesis dipilih secara rawak, disampel daripada tiga kawasan ladang sawit berbeza yang mewakili jenis tanah berlainan), tetapi mempunyai jenis kacukan dan umur sawit lima tahun jenis hibrid Tenera (Jadual 1).

Jadual 1. Maklumat pensampelan bunga sawit pada jenis tanah yang berbeza

Bil.	Ladang Sawit	Jenis Tanah
1.	Ladang sawit Yayasan Pahang, Pekan, Pahang.	Tanah Gambut
2.	Ladang sawit Felda Tekam, Jengka, Pahang.	Tanah Liat
3.	Ladang sawit persendirian, Tembila, Terengganu.	Tanah Pasir

Pensampelan bunga sawit bagi kriteria jenis semi-klon sawit yang berbeza dilakukan di dua kawasan ladang kelapa sawit yang berlainan (Jadual 2). Sementara itu, pensampelan bunga sawit mengikut perbezaan umur pokok dijalankan di ladang sawit yang sama iaitu ladang KLK, yang mewakili tiga peringkat umur pokok iaitu tiga, enam, dan lapan tahun.

Jadual 2. Maklumat pensampelan bunga sawit pada jenis semi-klon yang berbeza

Bil.	Ladang Sawit	Jenis Semi-Klon Sawit
1.	Ladang sawit Felda Tekam, Jengka, Pahang.	Semi-klon A (Dura x klon Felda). Hibrid Tenera (Dura x Pisifera).
2.	Ladang sawit Kuala Lumpur Kepong (KLK), Lekir, Perak.	Semi-klon B (Dura x klon AAR).

Pengekstrakan sampel dilakukan secara kaedah pengekstrakan larutan (Chauhan et al. 2014; Du et al. 2021; Zygmunt & Namiesnik 2003). Pelarut heksana ditambahkan ke dalam botol yang mengandungi sampel bunga sawit dengan nisbah kadar 1 gm berat sampel bersamaan 10 mL pelarut (1:10). Seterusnya sampel dibiarkan dalam rendaman sekurangnya selama sehari di dalam peti ais pada suhu bawah 4 °C sebelum proses tapisan dilakukan. Larutan sampel kemudiannya ditapis menggunakan kertas turas jenis Whatman gred 2 ke dalam botol lain. Setelah proses pengekstrakan, sampel bunga sawit seterusnya dianalisis menggunakan kaedah GC-MS secara kuantitatif.

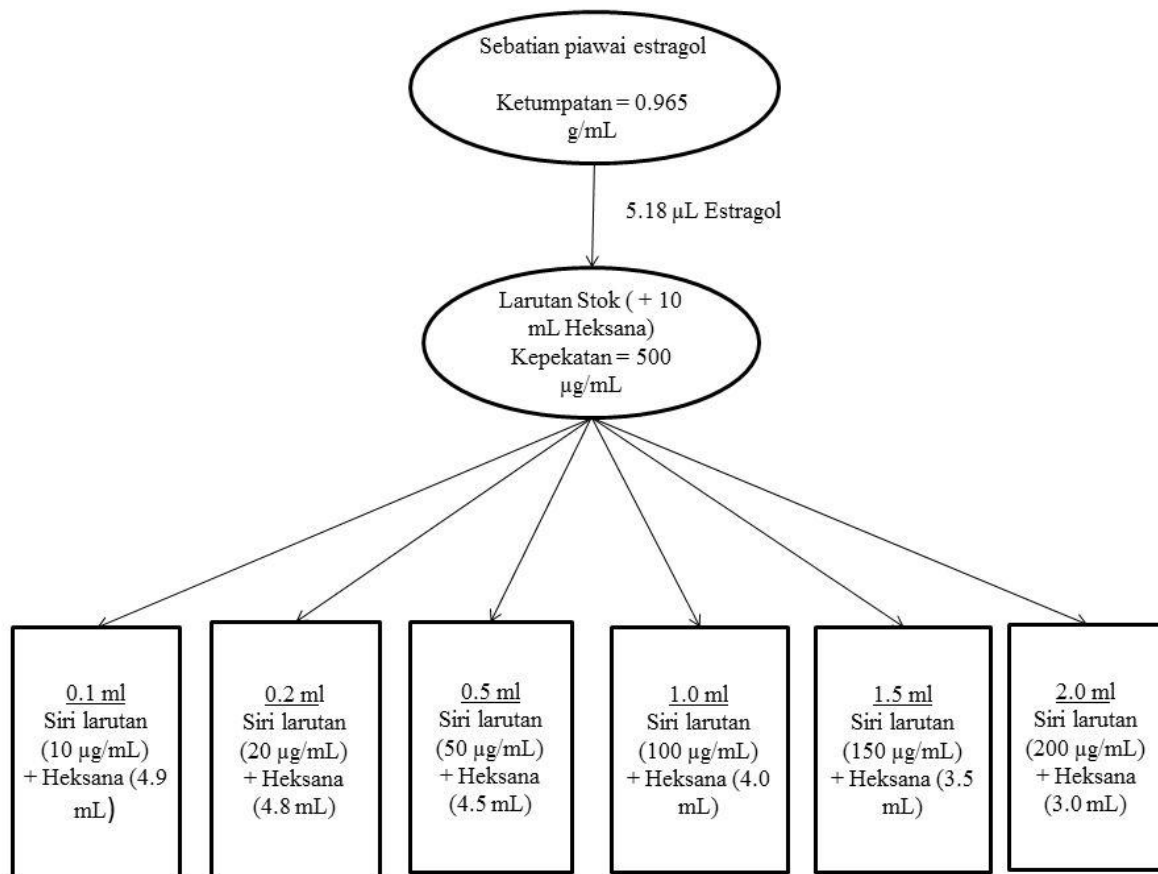
Penentuan Kepekatan Sebastian Estragol dalam Bunga Sawit Menggunakan Kaedah Kromatografi Gas-Spektrometri Jisim (GC-MS)

Analisis GC-MS ke atas sampel telah dijalankan di makmal Pusat Bank Gen dan Biji Benih, Institut Penyelidikan dan Kemajuan Pertanian Malaysia (MARDI), Serdang, Selangor. Analisis ini menggunakan gas kromatografi yang mempunyai persampelan automatik jenis AOC-20i dengan pengesan spektrometri jisim GCMS-QP2010 (Shimadzu, Japan). Manakala kolum GC adalah dari jenis BPX5 (Australia) bersaiz 30 m x 0.25 mm x 0.25 µm dan bersalut dengan gentian 95% metil polisiloksana atau 5% difenil digunakan. Bagi suhu pula, ia diprogramkan daripada 50°C ke 300°C pada kadar pemanasan 6.5°C per minit yang mana tempoh berehat ditetapkan selama dua minit apabila mencapai suhu 50°C dan 9.54 minit apabila mencapai suhu 300°C. Beberapa parameter bagi analisis GC ini juga telah diprogramkan seperti berikut iaitu suhu penyuntik adalah 250°C, jumlah suntikan adalah 1 µl dan suhu pemindahan adalah 280°C. Semua spektrum jisim diperolehi dalam mod pengionan elektron menggunakan voltan pengionan 70 eV dengan sumber ion bersuhu 200°C. Proses pengionan dihentikan semasa enam minit pertama untuk mengelakkan pengaliran pelarut secara berlebihan ke dalam MS yang mana boleh mendegradasi dan mengurangkan jangka hayat ion filamen. Tempoh berakhir analisis GC-MS ke atas satu sampel diselaraskan selama 50 minit. Proses analisis GC-MS ini dijalankan menggunakan perisian LabSolutions (Shimadzu 2012).

Penyediaan Larutan Sebastian Estragol Piawai

Setelah SKOM daripada pemisahan sampel bunga sawit dikenalpasti, proses pengesahan data dijalankan bertujuan mengukur kuantiti nilai sebatian yang disasar iaitu estragol. Proses ini melibatkan perbandingan kuantiti estragol yang didapati dalam sampel bunga sawit dengan nilai kepekatan data sebatian estragol tulen (sebatian piawai) komersial yang diperolehi daripada syarikat Sigma-Aldrich, USA. Proses ini melibatkan penyediaan enam siri kepekatan larutan berbeza iaitu 10, 20, 50, 100, 150 dan 200 µg/mL bagi sebatian estragol piawai untuk membina graf lengkung kalibrasi menggunakan kaedah pencairan ($M_1V_1=M_2V_2$). Melalui

kaedah ini, satu larutan stok pada kepekatan 500 $\mu\text{g/mL}$ disediakan dengan mengambil sejumlah 5.18 μL estragol piawai (ketumpatan tulen dalam bentuk cecair=0.965 g/mL) dan dicampurkan bersama 10 mL larutan heksana. Seterusnya, larutan stok telah dicairkan untuk mendapatkan kepekatan 200 $\mu\text{g/mL}$, 150 $\mu\text{g/mL}$, 100 $\mu\text{g/mL}$, 50 $\mu\text{g/mL}$, 20 $\mu\text{g/mL}$ dan 10 $\mu\text{g/mL}$ (Rajah 1).



Rajah 1. Carta alir penyediaan larutan piawai sebatian estragol

Kesemua siri larutan kepekatan ini disebatkan menggunakan pencampur vorteks sebelum sebahagian larutan dipindahkan ke dalam vial 1.5 mL untuk dianalisis dalam GC-MS. Proses penyediaan siri kepekatan larutan berbeza ini direplikasi sebanyak tiga kali sebelum data dijana dan dihitung untuk mendapatkan nilai R^2 seterusnya digunakan untuk membentuk lengkungan kalibrasi bagi sebatian estragol piawai melalui perisian LabSolutions dalam GC-MS (Shimadzu, Japan). Pengenalpastian sebatian yang disasar iaitu estragol dijalankan dengan membandingkan masa penahanan bagi sebatian piawai dengan sebatian dalam sampel bunga. Manakala nilai kepekatan sebatian estragol dalam setiap sampel dihitung secara automatik dalam perisian LabSolutions berdasarkan lengkung kalibrasi sebatian piawai.

Analisis Statistik

Analisis kandungan kepekatan sebatian estragol dilakukan dengan membandingkan nilai peratusan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit terhadap nilai sebenar kepekatan estragol piawai yang didapati berdasarkan lengkung kalibrasi larutan piawai dalam unit bahagian per juta (ppm). Seterusnya, ujian ANOVA dua hala dijalankan bagi melihat pengaruh faktor jenis tanah, semi-klon sawit dan umur pokok yang berbeza terhadap kepekatan sebatian

estragol yang dihasilkan bunga jantan dan bunga betina sawit. Sekiranya hasil analisis menunjukkan perbezaan yang signifikan pada aras keberangkalian ($P < 0.05$), nilai min antara faktor kajian dibandingkan menggunakan ujian Tukey. Program Minitab (Minitab 1998) digunakan bagi menjalankan semua analisis data.

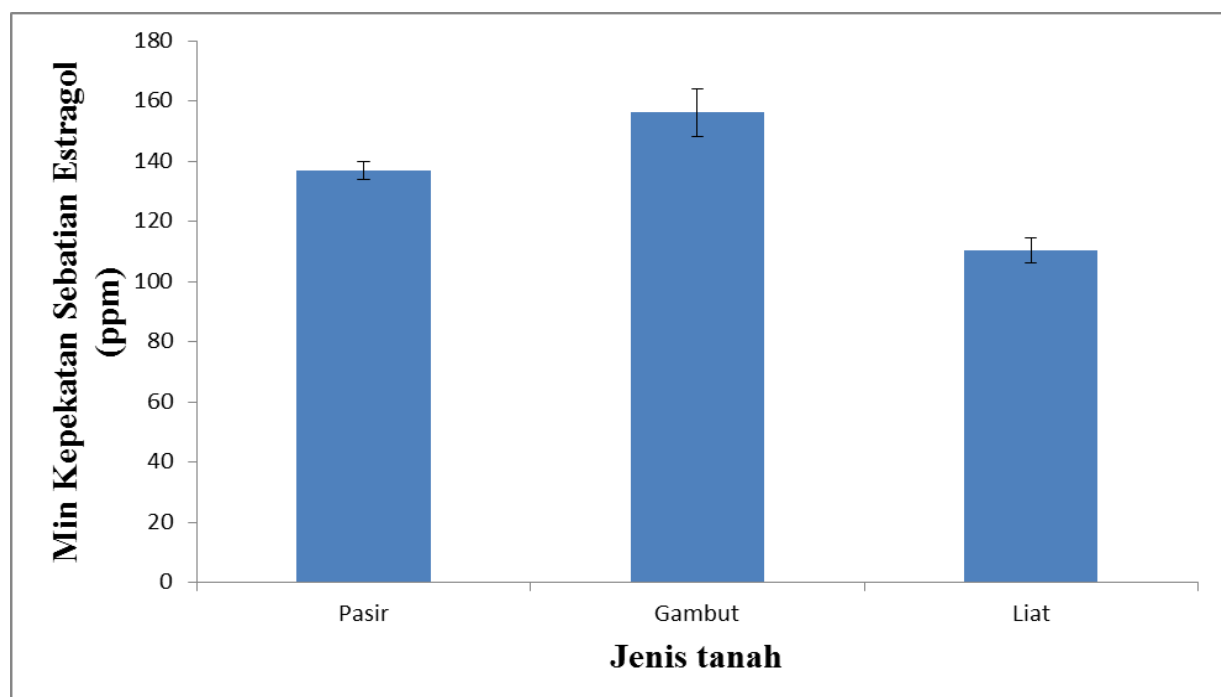
HASIL

Jenis Tanah Berbeza

Hasil ujian ANOVA menunjukkan terdapat perbezaan signifikan ($F_{2,29}=21.73$; $P < 0.05$) terhadap kepekatan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit antara jenis tanah yang berbeza (Jadual 3). Hasil ujian Tukey yang dijalankan mendapati min kepekatan sebatian estragol paling banyak dihasilkan oleh bunga sawit daripada pokok sawit yang ditanam di tanah gambut iaitu (156.2 ± 7.9) ppm dan berbeza secara signifikan berbanding tanah lain, diikuti dengan di tanah pasir iaitu (136.8 ± 2.9) ppm dan yang paling sedikit adalah di tanah liat iaitu (110.3 ± 4.0) ppm (Rajah 2).

Jadual 3. Ujian ANOVA dua hala ke atas sebatian estragol antara jenis tanah dan jantina bunga sawit berbeza

Sumber	dk	ANOVA SS	Nilai F	Nilai P
Jenis tanah	2	10596.9	21.73	< 0.05
Jantina bunga	1	964.9	3.96	> 0.05
Jenis tanah	2	1129.9	2.32	> 0.05
Ralat	24	5852.8		
Jumlah	29			



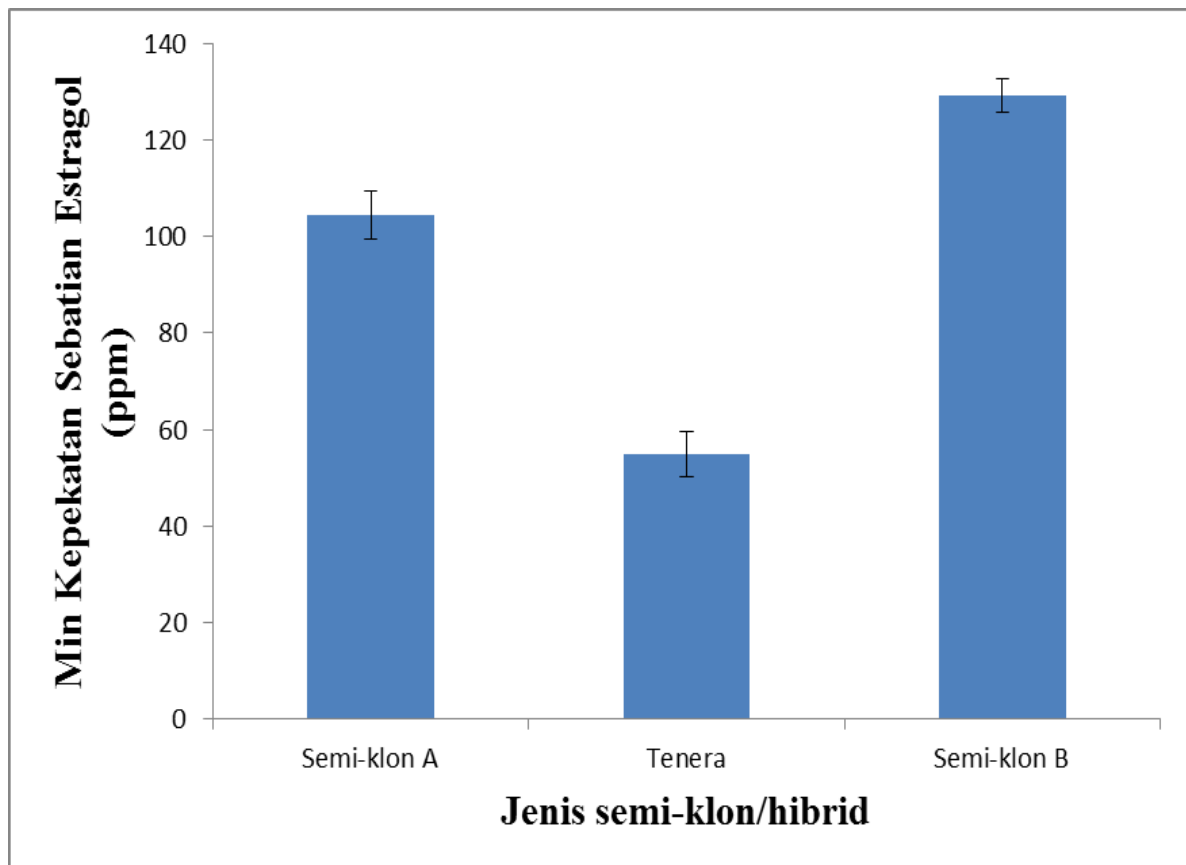
Rajah 2. Min kepekatan sebatian estragol bunga sawit antara jenis tanah berbeza

Jenis Semi-Klon Berbeza

Terdapat perbezaan signifikan bagi faktor jenis semi-klon sawit ($F_{2,29}=130.85$; $P<0.05$) dan jantina bunga ($F_{1,29}=18.09$; $P<0.05$) terhadap kepekatan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit (Jadual 4). Namun, interaksi antara jenis semi-klon dan jantina bunga tidak menunjukkan perbezaan signifikan ($F_{2,29}=2.81$; $P>0.05$). Bunga sawit daripada pokok sawit jenis semi-klon B menghasilkan min kepekatan sebatian estragol paling banyak dan berbeza secara signifikan ($P<0.05$) berbanding jenis semi-klon lain iaitu (129.1 ± 3.4) ppm, diikuti daripada jenis semi-klon A (104.4 ± 4.9) ppm dan paling sedikit daripada pokok sawit jenis Tenera iaitu (54.9 ± 4.6) ppm (Rajah 3). Kedua-dua min sebatian estragol yang dihasilkan jenis sawit ini berbeza secara signifikan ($P<0.05$) antara satu sama lain. Sementara itu, hasil kajian mendapati bunga jantan sawit mencatatkan min kepekatan sebatian estragol paling tinggi iaitu (104.2 ± 7.5) ppm dan berbeza secara signifikan ($P<0.05$) berbanding bunga betina sawit (88.0 ± 8.7) ppm.

Jadual 4. Ujian ANOVA dua hala ke atas sebatian estragol antara jenis semi-klon dan jantina bunga sawit berbeza

Sumber	dk	ANOVA SS	Nilai F	Nilai P
Jenis semi-klon	2	28526.2	130.85	<0.05
Jantina bunga	1	1972.2	18.09	<0.05
Jenis semi-klon*Jantina bunga	2	613.0	2.81	>0.05
Ralat	24	2616.1		
Jumlah	29			



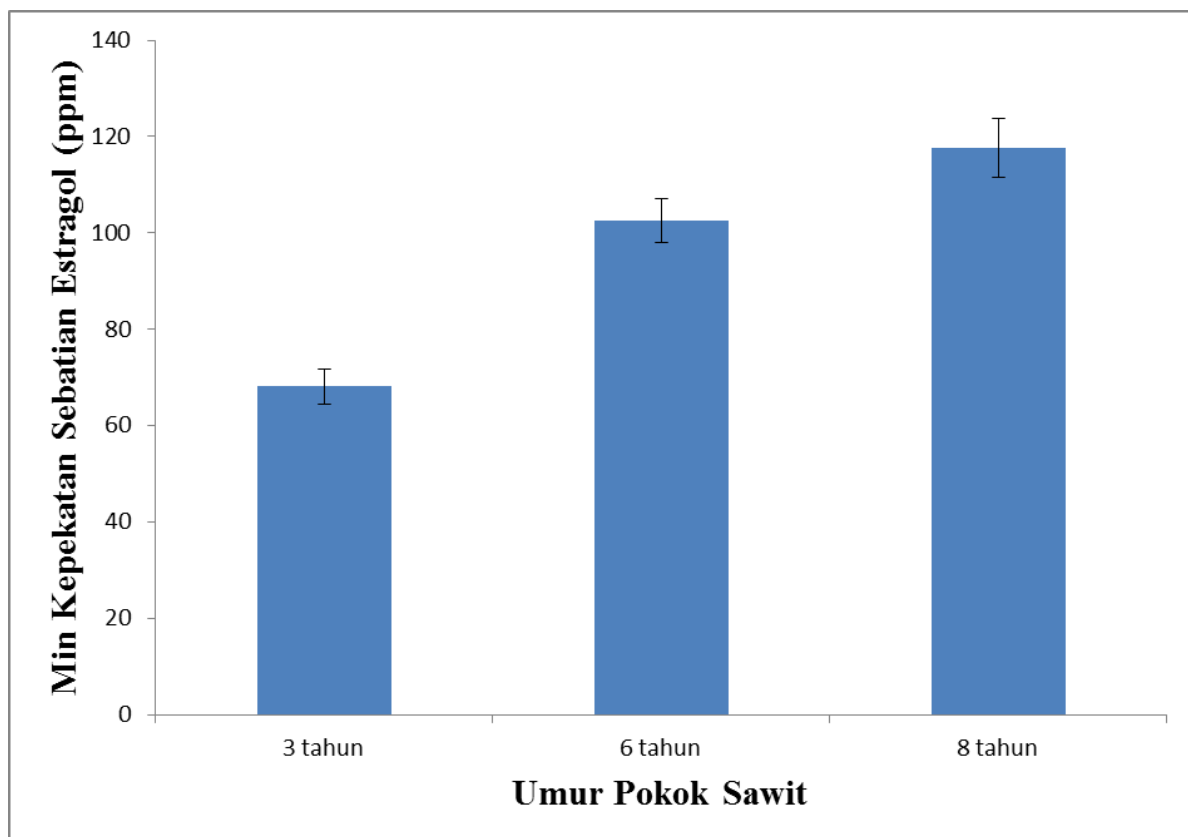
Rajah 3. Min kepekatan sebatian estragol bunga sawit antara jenis semi-klon berbeza

Umur Pokok Berbeza

Faktor umur pokok ($F_{2,29}=54.95$; $P<0.05$) dan jantina bunga ($F_{1,29}=28.36$; $P<0.05$) menunjukkan perbezaan yang signifikan terhadap kepekatan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit (Jadual 5). Walau bagaimanapun, interaksi antara umur pokok dan jantina bunga tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan ($F_{2,29}=0.52$; $P>0.05$) terhadap kepekatan sebatian estragol yang dihasilkan. Bunga sawit daripada pokok yang berumur lapan tahun menghasilkan min kepekatan sebatian estragol paling tinggi iaitu (117.7 ± 6.1) ppm dan berbeza secara signifikan ($P<0.05$) berbanding umur pokok yang lain. Ini diikuti bunga sawit daripada pokok yang berumur enam tahun (102.6 ± 4.5) ppm, dan paling rendah pula dihasilkan bunga sawit daripada pokok yang berumur tiga tahun iaitu (68.1 ± 3.6) ppm (Rajah 4). Bagi jantina bunga pula, didapati bunga jantan sawit menghasilkan min kepekatan sebatian estragol paling tinggi iaitu (106.7 ± 6.5) ppm yang berbeza secara signifikan ($P<0.05$) berbanding bunga betina sawit (85.6 ± 5.7) ppm.

Jadual 5. Ujian ANOVA dua hala ke atas kepekatan sebatian estragol antara umur pokok dan jantina bunga sawit berbeza

Sumber	dk	ANOVA SS	Nilai F	Nilai P
Jenis tanah	2	12972.2	54.95	<0.05
Jantina bunga	1	3347.7	28.36	<0.05
Jenis tanah	2	122.5	0.52	>0.05
Ralat	24	2833.1		
Jumlah	29			



Rajah 4. Min kepekatan sebatian estragol bunga sawit antara umur pokok berbeza

PERBINCANGAN

Hasil kajian ke atas jenis tanah yang berbeza mendapati min kepekatan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit daripada jenis tanah gambut dan tanah pasir adalah lebih tinggi berbanding daripada jenis tanah liat (Rajah 2). Hasil dapatan ini adalah suatu informasi yang baru dan tidak dijangkakan kerana tanah gambut dan tanah pasir sebagaimana yang diketahui merupakan jenis tanah yang bermasalah dan tidak produktif bagi tanaman kelapa sawit (Lim 2007; Mutert 1999; Thoumazeau et al. 2024). Walau bagaimanapun, hal ini dilihat mempunyai hubungkait dengan faktor persekitaran yang mencabar di kawasan tanah bermasalah yang mampu memberi tekanan ke atas fisiologi tumbuhan. Menurut Foyer & Kranner (2023), tekanan pada tumbuhan terjadi apabila terdapat perubahan daripada faktor luaran seperti musim kemarau atau banjir yang boleh memberi kesan negatif ke atas pertumbuhan, produktiviti serta fisiologi tumbuhan. Pada situasi sebegini, tumbuhan kebiasaannya bertindakbalas dengan cara meningkatkan atau mengurangkan aktiviti metabolisme tumbuhan bertujuan meredakan tekanan serta menstabilkan pokok, sekaligus mempengaruhi penghasilan SKOM oleh tumbuhan. Hal ini dibuktikan dalam kajian lepas yang menunjukkan tumbuhan di kawasan persekitaran yang mencabar seperti di tanah tandus atau paya masin didapati meningkatkan penghasilan SKOM tertentu yang mana SKOM tersebut mampu bertindak memberi kestabilan pada fisiologi tumbuhan daripada tekanan (Loreto & Schnitzler 2010; Ormeño & Fernandes 2012; Werner et al. 2021). Keadaan yang sama ini juga mungkin dialami pokok sawit di jenis tanah gambut dan tanah pasir yang mempunyai kawasan persekitaran mencabar yang mana penghasilan kepekatan sebatian estragol yang lebih tinggi oleh bunga sawit di jenis tanah ini merupakan salah satu tindakbalas yang dilakukan pokok sawit bagi menstabilkan fisiologi pokok daripada tekanan persekitaran. Tambahan pula, selain berperanan menarik serangga, SKOM daripada kumpulan berfungsi fenil seperti sebatian estragol juga didapati mampu bertindak sebagai mekanisme pertahanan dengan melindungi sel dalam tumbuhan daripada kecederaan akibat tekanan faktor persekitaran (Cheynier et al. 2013; Midzi et al. 2022; Sharma et al. 2019). Selain itu, jumlah bilangan bunga sawit yang sedikit yang dicatatkan di kawasan ladang sawit jenis tanah gambut serta tanah pasir turut dilihat menjadi antara faktor penyumbang kepada penghasilan kepekatan sebatian estragol yang tinggi oleh bunga sawit. Ini mungkin disebabkan sebatian estragol yang mempunyai kepekatan tinggi akan mengeluarkan aroma bunga yang lebih kuat yang mampu menarik kehadiran serangga pendebunga *E. kamerunicus* walaupun pada jarak yang jauh sekaligus membantu aktiviti pendebungaan ke atas bunga sawit di kawasan tanah bermasalah. Menurut Farré-Armengol et al. (2013), serangga pendebunga lebih mudah tertarik pada tumbuhan berbunga yang menghasilkan dan membebaskan aroma bunga yang kuat. Ini disokong dengan kajian makmal oleh Halil et al. 2024 yang menunjukkan bahawa semakin tinggi kepekatan estragol, semakin tinggi kecenderungan *E. kamerunicus* pada estragol. Namun setelah mencapai ambang kepekatan tertentu, *E. kamerunicus* tidak begitu tertarik dengan sebatian estragol. Walaupun kepekatan estragol bagi tanah liat kurang berbanding dengan tanah berpasir dan gambut, beberapa kajian menunjukkan bahawa populasi *E. kamerunicus* pada tanaman sawit di kawasan tanah liat adalah lebih tinggi berbanding jenis tanah yang lain seperti tanah gambut (Lubis et al. 2017; Lubis et al. 2023).

Sementara itu, hasil kajian ke atas bunga sawit antara jenis semi-klon yang berbeza mendapati bunga sawit jenis semi-klon B menghasilkan min kepekatan sebatian estragol paling tinggi berbanding bunga sawit jenis semi-klon A dan Tenera (Rajah 3). Perbezaan penghasilan sebatian estragol ini didapati mempunyai kaitan dengan kualiti genetik antara semi-klon sawit. Sebatian SKOM yang dihasilkan tumbuhan ditentukan oleh faktor genetik yang mana kualiti genetik sesuatu tumbuhan tersebut dapat diketahui melalui jenis dan jumlah SKOM yang

terhasil. Dalam kajian ini, bunga sawit daripada kedua-dua jenis semi-klon menghasilkan min kepekatan sebatian estragol yang lebih tinggi berbanding bunga sawit jenis Tenera. Ini menunjukkan bahawa sawit jenis semi-klon sawit mempunyai ciri dan kualiti pokok yang lebih baik disebabkan mempunyai kepelbagaian genetik yang lebih tinggi kerana proses penghasilan pokok sawit jenis semi-klon adalah daripada kacukan varieti sawit dengan klon sawit yang terpilih dan berkualiti (Pradiko et al. 2023; Veerappan et al. 2000). Ini boleh dilihat apabila kebanyakan pokok sawit yang ditanam secara komersial adalah dipilih daripada jenis semi-klon dan klon disebabkan mempunyai keupayaan untuk menghasilkan kualiti dan jumlah buah yang lebih baik (Rivas et al. 2012).

Bagi kajian bunga sawit antara umur pokok yang berbeza pula, didapati bunga sawit daripada pokok yang berumur lapan tahun menghasilkan min kepekatan sebatian estragol yang lebih tinggi berbanding daripada pokok yang berumur enam dan tiga tahun (Rajah 4). Ini menunjukkan bahawa berlaku peningkatan penghasilan sebatian estragol pada bunga sawit apabila umur pokok bertambah. Keadaan ini adalah suatu yang normal bagi tumbuhan dalam penghasilan dan pembebasan SKOM sama ada melalui bunga, daun atau buah yang mana berlaku sepanjang perkembangan tumbuhan dan mempunyai corak yang sama. Corak yang dimaksudkan adalah perubahan pada jumlah SKOM yang dihasilkan sama ada bertambah, berkurang atau tidak berubah bergantung kepada perkembangan tumbuhan ketika itu seperti apabila bunga memasuki peringkat berbunga, pucuk berkembang menjadi daun atau buah serta pertambahan ketinggian dan umur pokok (Dudareva & Pichersky 2000; Gershenzon et al. 2000; Zorpeykar et al. 2022). Hal yang sama berlaku bagi bunga sawit pada peringkat antesis apabila jumlah sebatian estragol yang dihasilkan bertambah mengikut peningkatan umur pokok.

Dalam pada itu, hasil kajian mendapati kepekatan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit adalah berbeza antara jantina bunga yang mana bunga jantan menghasilkan kepekatan estragol yang lebih tinggi berbanding bunga betina. Perbezaan ini dilihat mempunyai hubungkaitnya dengan fungsi bunga sawit dalam aktiviti pendebungaan. Sebagaimana yang diketahui, bunga jantan sawit berperanan sebagai perumah atau habitat bagi kumbang *E. kamerunicus* membiak disamping menghasilkan debunga yang menjadi sumber makanan bagi kumbang (Zulkefli et al. 2020). Hal ini yang menjadikan sebatian estragol didapati lebih tinggi pada bunga jantan sawit. Hasil ini juga disokong melalui kajian lepas yang menunjukkan bunga yang mempunyai debunga kebiasaannya menghasilkan aroma bunga yang lebih kuat disebabkan untuk menarik lebih banyak kehadiran serangga (Dobson & Bergstrom 2000; Farré-Armengol et al. 2013; Hoe et al. 2018). Selain itu, tempoh masa antesis bunga jantan sawit yang lebih lama berbanding bunga betina sawit juga dilihat boleh mempengaruhi penghasilan sebatian estragol kerana tempoh antesis yang lama akan mempengaruhi aktiviti metabolisme bunga jantan sawit bagi menghasilkan kepekatan sebatian estragol yang lebih banyak bertujuan menarik dan mengekalkan kehadiran kumbang *E. kamerunicus* pada bunga. Menurut Zulkefli et al. (2020), bunga jantan sawit mengalami tempoh masa antesis antara lima hingga enam hari. Manakala bunga betina sawit pula mengalami tempoh masa antesis antara satu hingga dua hari.

KESIMPULAN

Hasil kajian mendapati kandungan sebatian estragol yang dihasilkan bunga sawit amat dipengaruhi faktor perbezaan jenis tanah, semi-klon sawit serta umur pokok. Dalam kajian ini, bunga sawit yang ditanam di tanah gambut dan dari jenis semi-klon B menghasilkan

min kepekatan sebatian estragol paling tinggi. Selain itu, bunga sawit daripada pokok yang paling berumur iaitu lahan tahun juga menghasilkan min kepekatan sebatian estragol paling tinggi. Bagi faktor jantina bunga sawit, bunga jantan sawit menghasilkan min kepekatan sebatian estragol yang lebih tinggi berbanding bunga sawit betina. Seperti yang diketahui, sebatian estragol memainkan peranan penting dalam menarik kumbang *E. kamerunicus* pada bunga sawit. Justeru, hasil dapatan ini dapat memberi maklumat awal kepada pihak pengurusan ladang untuk memilih parameter yang sesuai bagi penanaman sawit dalam usaha menarik kumbang pendebunga melalui peningkatan penghasilan estragol yang dihasilkan, yang seterusnya dapat meningkatkan hasil sawit. Hasil dapatan ini juga boleh menjadi penanda aras dalam kajian lanjutan berkaitan pengaruh faktor ini terhadap kelimpahan kumbang *E. kamerunicus* di kawasan ladang sawit yang berbeza.

PENGHARGAAN

Terima kasih diucapkan kepada En. Razali Mirad dan En. Wan Khairul Wan Ali daripada Pusat Penyelidikan MARDI, Serdang dan staf Pusat Sistemik Serangga, UKM serta kesemua rakan-rakan yang terlibat dalam membantu dalam menjalankan kajian ini.

PENGISYTIHARAN PENGARANG

Pernyataan Biaya Dana

Projek penyelidikan ini merupakan sebahagian projek penyelidikan PhD penulis pertama

Percanggahan Kepentingan

Penulis-penulis mengisytiharkan bahawa tidak mempunyai konflik kepentingan

Penyataan Etika

Tiada isu etika diperlukan untuk penyelidikan ini.

Pernyataan Kehadiran Data Tambahan

Tiada

Sumbangan Penulis

Penulis pertama Muhamad Fahmi-Halil menulis sebahagian besar artikel tersebut. Johari Jalinas, Dzulhelmi Muhammad Nasir, Wan Nurul 'Ain Wan Mohd Nor, Wan-Aida Wan Mustapha, Mohd-Shahrul Mohd Nadzir, Irham Razak, Nurul Fatimah Abd Latip & Idris Abdul Ghani memberikan idea, bantuan sokongan penyelidikan dan membuat pembetulan kritikal dalam manuskrip ini.

RUJUKAN

- Abubakar, A., Ishak, M.Y. & Makmom, A.A. 2021. Impacts of and adaptation to climate change on the oil palm in Malaysia: A systematic review. *Environmental Science and Pollution Research* 28(39): 54339–54361.
- Ajeng, A.A., Abdullah, R., Malek, M.A., Chew, K.W., Ho, Y.C., Ling, T.C., Lau, B.F. & Show, P.L. 2020. The effects of biofertilizers on growth, soil fertility, and nutrients uptake of oil palm (*Elaeis guineensis*) under greenhouse conditions. *Processes* 8(12): 1681.
- Chauhan, A., Goyal, M.K. & Chauhan, P. 2014. GC-MS technique and its analytical applications in science and technology. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques* 5: 222-224.
- Cheynier, V., Comte, G., Davies, K.M., Lattanzio, V. & Martens, S. 2013. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry* 72: 1-20.
- Dobson, H.E.M. & Bergström, G. 2000. The ecology and evolution of pollen odors. *Plant Systematics and Evolution* 222: 63-87.
- Du, C., Du, J.R., Feng, X. & Wang, J. 2021. Green extraction of perilla volatile organic compounds by pervaporation. *Separation and Purification Technology* 261: 118281.
- Dudareva, N. & Pichersky, E. 2000. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents. *Plant Physiology* 122: 627-633.
- Farneti, B., Cristescu, S.M., Costa, G., Harren, F.J.M. & Woltering, E.J. 2012. Rapid tomato volatile profiling by using proton-transfer reaction mass spectrometry (PTR-MS). *Journal of Food Science* 77: 551-559.
- Farré-Armengol, G., Filella, I., Llusia, J. & Penuelas, J. 2013. Floral volatile organic compounds: Between attraction and deterrence of visitors under global change. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 15: 56-67.
- Filho, E.G.A., Brito, R.S., Rodrigues, T.H.S., Silva, L.M.A., de Brito, E.S., Canuto, K.M., Krug, C. & Zocolo, G.J. 2019. Association of pollinators of different species of oil palm with the metabolic profiling of volatile organic compounds. *Chemistry and Biodiversity* 16(6): e1900050.
- Filipović, V., Ugrenović, V., Popović, V., Dimitrijević, S., Popović, S., Aćimović, M., Dragumilo, A. & Pezo, L. 2023. Productivity and flower quality of different pot marigold (*Calendula officinalis* L.) varieties on the compost produced from medicinal plant waste. *Industrial Crops and Products* 192: 116093.
- Foyer, C.H. & Kranner, I. 2023. Plant adaptation to climate change. *Biochemical Journal* 480: 1865–1869.

- Gershenzon, J., McConkey, M.E. & Croteau, R.B. 2000. Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. *Plant Physiology* 122: 205-214.
- Halil, M-F.M., Nasir, D.M., Jalinas, J., Mustapha, W-A.W., Nadzir, M-S.M. & Ghani, I.A. 2024. Kecenderungan kumbang pendebunga, *Elaeidobius kamerunicus* kelapa sawit terhadap kepekatan sebatian estragol yang berbeza. *Serangga* 29 (3): 160-175.
- Hoe, Y.C., Gibernau, M. & Wong, S.Y. 2018. Diversity of pollination ecology in the *Schismatoglottis calyptrata* complex clade (Araceae). *Plant Biology* 20(3): 12687.
- Joseph, G., Kelsey, R.G., Rick, G., Peck, R.W. & Niwa, C.G. 2001. Response of some scolytids and their predators to ethanol and 4-allylanisole in pine forests of Central Oregon. *Journal of Chemical Ecology* 27: 697-715.
- Kouakou, M., Hala, N., Akpesse, A.A.M., Tuo, Y., Dagnogo, M., Konan, K.E. & Koua, H.K. 2014. Comparative efficacy of *Elaeidobius kamerunicus*, *E. plagiatus*, *E. subvittatus* (Coleoptera: Curculionidae) and *Microporum* sp. (Coleoptera: Nitidulidae) in the pollination of oil palm (*Elaeis guineensis*). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 2(6): 538-545.
- Lim, K.H. 2007. Effects of peat subsidence on oil palm cultivation and some ameliorating measure. *Proceedings of Soil Science Conference*, pp. 194-201.
- Loreto, F. & Schnitzler, J. 2010. Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends Plant Science* 15(3): 154-166.
- Loreto, F., Dicke, M., Jörg-Peter, S. & Turlings, C.J. 2014. Plant volatiles and the environment. *Plant, Cell and Environment* 37: 1905-1908.
- Lubis, F.I., Sudarjat, S. & Dono, D. 2017. Populasi serangga penyerbuk kelapa sawit *Elaeidobius kamerunicus* Faust dan pengaruhnya terhadap nilai fruit set pada tanah berliat, berpasir dan gambut di Kalimantan Tengah, Indonesia. *Agrikultura* 28(1): 13056.
- Lubis, F.I., Sudarjat, S., Bari, I.N. & Supratman, U. 2023. Identification of volatile compounds of oil palm flower (*Elaeis guineensis* Jacq.) with gas chromatography and mass spectrometry based on the difference in time. *Indonesian Journal of Chemistry* 23(4): 948–960.
- McCormick, A.C, Effah, E. & Najar-Rodriguez, A. 2023. Ecological aspects of volatile organic compounds emitted by exotic invasive plants. *Frontiers in Ecology and Evolution* 11: 1059125.
- Méndez, Y.D.R., Chacón, L.M., Bayona, C.J. & Romero, H.M. 2012. Physiological response of oil palm interspecific hybrids (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes versus *Elaeis guineensis* Jacq.) to water deficit. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 24(4): 273-280.
- Midzi, J., Jeffery, D.W., Baumann, U., Rogiers, S., Tyerman, S.D. & Pagay, V. 2022. Stress-induced volatile emissions and signalling in inter-plant communication. *Plants* 11: 19: 2566.

Minitab. 1998. Users Guide 1 and 2, Release 12 for Windows. USA: Minitab Inc.

Mohamad, S.A., Masri, M.M.M., Kamarudin, N., Sulaiman, M.R., Costa, A., Ong-Abdulla, M., Othman, H., Ahmad, S.N., Syarif, M.N.Y., Karim, Z.A., Ghani, I.A., Amit, S., Zakaria, A., Ming, S.C., Chuan, S.T., Jalinas, J., Koong, Y.Y., Sairi, A.A., Ali, S.M.F.S. & Parveez, G.K.A. 2023. Impact of *Elaeidobius kamerunicus* (Faust) introduction on oil palm fruit formation in Malaysia and factors affecting its pollination efficiency: A Review. *Journal of Oil Palm Research* 35(1): 1-22.

Mutert, E. 1999. Suitability of soils for oil palm in Southeast Asia. *Better Crop International* 13(1): 36-38.

Ormeño, E., Baldy, V., Ballini, C. & Fernandez, C. 2008. Production and diversity of volatile terpenes from plants on calcareous and siliceous soils: effect of soil nutrients. *Journal of Chemical Ecology* 34(9): 1219-1229.

Ormeño, E. & Fernandez, C. 2012. Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. *Current Bioactive Compounds* 8: 71-79.

Prabowo, M.A., Ramadhan, T.H. & Syahputra, E. 2021. Populasi *Elaeidobius kamerunicus* pada tanaman kelapa sawit yang berbeda umur di kecamatan Rasau Jaya, Kabupaten Kubu Raya. *Perkebunan Dan Lahan Tropika* 11(2): 90-95.

Pradiko, I., Hariyadi, June, T. & Sujadi. 2023. Performance of three oil palm varieties on the East Coast of North Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1133(1): 012005.

Prasetyo, D.W., Kurniawan, L., Andriani, M., Putra, G.I.S., Nugraha, E.P. & Firlana. 2024. Physiological performance of oil palm inflorescences (*Elaeis guineensis* Jacq) after drought stress on 3 different soil types in central Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1308(1): 012040.

Rivas, M., Barbieri, R.L. & Luciano, C.M. 2012. Plant breeding and in situ utilization of palm trees. *Ciência Rural* 42(2): 261-269.

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M. & Zheng, B. 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules* 24(13): 40-52.

Shimadzu. 2012. *GC×GC Handbook - Fundamental Principles of Comprehensive 2D GC*. Japan: Shimadzu Corporation.

Snyder, M.A. & Bower, N.W. 2005. Resistance to bark beetle attack in Caribbean pine: Potential role of 4-allylanisole. *Biotropica* 37: 702-705.

Tandon, R., Manohara, T.N., Nijalingappa, B.H.M. & Shivanna, K.R. 2001. Pollination and pollen-pistil interaction in oil palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany* 87: 831-838.

Thoumazeau, A., Mettauer, R., Turinah, Junedi, H., Baron, V., Chéron-Bessou, C. & Ollivier, J. 2024. Effects of fertilization practices and understory on soil health and oil palm

- performances in smallholdings: An Indonesian case study. *Agricultural Systems* 213: 103802.
- Veerappan, P., Musa, B., Nazeeb, M. & Loong, S.G. 2000. Early performance and potential of semiclinal DxP progenies. *Proceeding of International Planters Conference on Plantation Tree Crops in the New Millennium: The Way Ahead*, pp. 117-130.
- Wason, E. & Hunter, M. 2014. Genetic variation in plant volatile emission does not result in differential attraction of natural enemies in the field. *Oecologia* 174: 479-491.
- Werner, C., Meredith, L.K., Ladd, S.N., Ingrisch, J., Kübert, A., van Haren, J., Bahn, M., Bailey, K., Bamberger, I., Beyer, M., Blomdahl, D., Byron, J., Daber, E., Deleeuw, J., Dippold, M.A., Fudyma, J., Gil-Loaiza, J., Honeker, L.K., Hu, J. & Williams, J. 2021. Ecosystem fluxes during drought and recovery in an experimental forest. *Science* 374(6574): 1514-1518.
- Yunanto, T., Amanah, F., Wulansari, A.R. & Wisnu, N.P. 2022. Effect of soil properties on plant growth and diversity at various ages of coal mine reclamation in Indonesia. *Biodiversitas* 23(1): 459-468.
- Zorpeykar, S., Mirzaee-Ghaleh, E., Karami, H., Ramedani, Z. & Wilson, A.D. 2022. Electronic nose analysis and statistical methods for investigating volatile organic compounds and yield of mint essential oils obtained by hydrodistillation. *Chemosensors* 10(11): 0486.
- Zulkefli, M.H.H., Jamian, S., Adam, N.A., Jalinas, J., Mohamad, S.A. & Mohd Masri, M.M. 2020. Beyond four decades of *Elaeidobius kamerunicus* Faust (Coleoptera: Curculionidae) in the Malaysian oil palm industry: A review. *Journal of Tropical Ecology* 36(6): 282–292.
- Zygmunt, B. & Namiesnik, J. 2003. Preparation of samples of plant material for chromatographic analysis. *Journal of Chromatographic Science* 41(3): 109-116.