

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xv
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
PENGANTAR UMUM	1
1. Latar Belakang.....	1
1.1. Landasan Biologi Penyerbukan Kelapa Sawit.....	2
1.2. Faktor Ekologis dalam Sistem Penyerbukan.....	4
1.3. Karakteristik Biologi dan Reproduksi Kelapa Sawit di Dua Agroekosistem.....	7
2. Permasalahan.....	7
3. Tujuan.....	10
4. Manfaat.....	11
5. Keaslian.....	12
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	15
2. Tinjauan Pustaka	15
2.1. Kelapa Sawit sebagai Sistem Reproduksi dan Produksi.....	15
2.2. Ekologi Penyerbukan Kelapa Sawit dan <i>Fruit Set</i> sebagai Indikator Kinerja	16
2.3. Sinyal Bunga, <i>Reward</i> , dan Mediator Perilaku Polinator.....	18
2.4. <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dan Transformasi Sistem Penyerbukan	20
2.5. Ekologi Perilaku: Aktivitas Harian, <i>Sex Ratio</i> , dan Efektivitas Transfer Polen.....	22
2.6. Interaksi Iklim–Polinator dan Faktor Penggerak Dinamika Populasi.....	24
2.7. Keragaman Populasi, Regulasi Ekspresi Gen, dan Relevansi Transkriptomik.....	25
2.8. Kerangka Teori Disertasi: Dari Lingkungan ke <i>Fruit Set</i> melalui Perilaku dan Regulasi Gen.....	27

2.9. Heterogenitas Spasial Penyerbukan dan Gradien Posisi dalam Tandan Bunga	28
3. Landasan Teori	30
4. Hipotesis	33
TOPIK 1	35
DINAMIKA POPULASI <i>Elaeidobius kamerunicus</i> DAN FRUIT SET KELAPA SAWIT DI KALIMANTAN TENGAH DAN SUMATRA UTARA	35
PENDAHULUAN	35
BAHAN DAN METODE	36
HASIL DAN PEMBAHASAN	41
KESIMPULAN	57
TOPIK 2	58
PERILAKU <i>Elaeidobius kamerunicus</i> ASAL KALIMANTAN TENGAH DAN SUMATRA UTARA PADA BUNGA KELAPA SAWIT	58
PENDAHULUAN	58
BAHAN DAN METODE	61
HASIL DAN PEMBAHASAN	66
KESIMPULAN	87
TOPIK 3	88
BIOLOGI <i>Elaeidobius kamerunicus</i> ASAL KALIMANTAN TENGAH DAN SUMATRA UTARA	88
PENDAHULUAN	88
BAHAN DAN METODE	89
HASIL DAN PEMBAHASAN	94
KESIMPULAN	104
TOPIK 4	105
EFISIENSI PENYERBUKAN KELAPA SAWIT DARI <i>Elaeidobius kamerunicus</i> ASAL KALIMANTAN TENGAH DAN SUMATRA UTARA	105
PENDAHULUAN	105
BAHAN DAN METODE	107
HASIL DAN PEMBAHASAN	110
KESIMPULAN	123
PEMBAHASAN UMUM	125
KESIMPULAN DAN SARAN	135
DAFTAR PUSTAKA	137

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ringkasan keaslian penelitian disertasi ini	11
Tabel 2. Ringkasan pengamatan aktivitas kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> pada bunga jantan dan betina kelapa sawit mekar harian di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	72
Tabel 3. Hasil regresi linier berganda pengaruh suhu, kelembapan, dan VPD terhadap kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> pada bunga jantan dan betina kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	82
Tabel 4. Data hasil sekuensing RNA terhadap <i>Elaeidobius kamerunicus</i> asal Kalimantan Tengah (EkCK) dan Sumatra Utara (EkNS).....	84
Tabel 5. Hari puncak oviposisi <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dan rerata jumlah telur yang diletakkan dari setiap perlakuan pakan dan asal kumbang	96
Tabel 6. Rerata jumlah telur <i>Elaeidobius kamerunicus</i> yang diletakkan pada bunga jantan anthesis per kumbang betina selama masa hidupnya serta rerata lama hidup kumbang jantan dan betina di ruang terkendali dari setiap perlakuan pakan dan asal kumbang.....	97
Tabel 7. Rerata jumlah telur <i>Elaeidobius kamerunicus</i> yang diletakkan pada bunga jantan anthesis per kumbang betina selama masa hidupnya serta rerata lama hidup kumbang jantan dan betina di ruang terkendali dari setiap perlakuan pakan dan asal kumbang.....	98
Tabel 8. Rerata lama hidup setiap stadia <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dari telur hingga kepompong dalam setiap perlakuan asal kumbang.....	99
Tabel 9. Kemunculan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan dan betina serta waktu tercepat dan terlama dari stadia telur dalam setiap perlakuan asal kumbang.....	100
Tabel 10. Mortalitas dari setiap kemunculan stadia <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dalam setiap perlakuan asal kumbang.....	101
Tabel 11. Statistik uji hasil analisis MANOVA untuk variabel <i>fruit set</i> , <i>fruit to bunch</i> , berat tandan, dan rendemen minyak (OER) kelapa sawit dengan perlakuan asal kumbang, jumlah kumbang dan <i>sex ratio</i> kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i>	110
Tabel 12. Kekuatan pengaruh asal kumbang, jumlah kumbang dan <i>sex ratio</i> kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> terhadap <i>fruit set</i> , <i>fruit to bunch</i> , berat tandan, dan rendemen minyak (OER) berdasarkan hasil analisis ANOVA.....	111
Tabel 13. Analisis tandan meliputi nilai <i>fruit set</i> , <i>fruit to bunch</i> , berat tandan, dan rendemen minyak (OER) kelapa sawit dari setiap perlakuan penyerbukan	112

Tabel 14. Hasil ANOVA 4 faktor yakni kuadran dalam tandan, asal kumbang, jumlah kumbang per tandan, dan *sex ratio* kumbang *Elaeidobius kamerunicus* sebagai perlakuan penyerbukan dalam mempengaruhi terbentuknya *fruit set* kelapa sawit 116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pola hujan memengaruhi kondisi iklim mikro yang akan berdampak langsung pada aktivitas dan <i>sex ratio</i> kumbang penyerbuk dalam membentuk <i>fruit set</i> dan rendemen minyak kelapa sawit	3
Gambar 2. Faktor-faktor yang memengaruhi terbentuknya <i>fruit set</i> kelapa sawit	5
Gambar 3. Faktor-faktor yang memengaruhi perkembangan populasi <i>Elaeidobius kamerunicus</i> (Sumber: Li <i>et al.</i> , 2019)	21
Gambar 4. Morfologi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan (kiri) dan betina (kanan)	23
Gambar 5. Skema penelitian perilaku <i>Elaeidobius kamerunicus</i> sebagai penyerbuk kelapa sawit di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	31
Gambar 6. <i>Layout</i> pengambilan sampel tanaman untuk pengamatan populasi <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dan <i>fruit set</i> kelapa sawit tiap bulan	37
Gambar 7. Penangkapan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> pada bunga jantan anthesis untuk penghitungan populasi per ha	38
Gambar 8. Pencacahan tandan dan pemisahan berondolan buah jadi dan tidak jadi karena penyerbukan untuk penghitungan <i>fruit set</i> kelapa sawit	39
Gambar 9. Pemberian label pada bunga betina reseptif setelah adanya pengamatan perlakuan jam hujan dengan kawat sehingga akan terjepit kuat saat sudah berkembang menjadi buah	40
Gambar 10. Perbandingan rerata <i>fruit set</i> kelapa sawit yang terbentuk pada April 2021-April 2022 di Kalimantan Tengah dan pada April 2022-April 2023 di Sumatra Utara	41
Gambar 11. Dinamika <i>fruit set</i> kelapa sawit bulanan di Kalimantan Tengah	42
Gambar 12. Dinamika <i>fruit set</i> kelapa sawit bulanan di Sumatra Utara	42
Gambar 13. Perbandingan rerata populasi <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha pada periode April 2021-April 2022 di Kalimantan Tengah dan pada April 2022-April 2023 di Sumatra Utara	44
Gambar 14. Dinamika populasi <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha setiap bulan pengamatan di Kalimantan Tengah	44
Gambar 15. Dinamika populasi <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha setiap bulan pengamatan di Sumatra Utara	45
Gambar 16. Kerusakan bunga jantan kelapa sawit oleh hama tikus di lokasi kebun Sumatra Utara	45
Gambar 17. Dinamika curah hujan bulanan dimulai dari 6 bulan sebelum pengamatan <i>fruit set</i> kelapa sawit di Kalimantan Tengah	46
Gambar 18. Dinamika curah hujan bulanan dimulai dari 6 bulan sebelum pengamatan <i>fruit set</i> kelapa sawit di Sumatra Utara	47

Gambar 19. Korelasi curah hujan bulanan dengan terbentuknya <i>fruit set</i> kelapa sawit pada 6 bulan kemudian di Kalimantan Tengah.....	48
Gambar 20. Korelasi curah hujan bulanan dengan terbentuknya <i>fruit set</i> kelapa sawit pada 6 bulan kemudian di Sumatra Utara	48
Gambar 21. Perbandingan hubungan curah hujan dan <i>fruit set</i> rerata yang terbentuk 6 bulan kemudian di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	49
Gambar 22. Korelasi curah hujan bulanan dengan populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha pada 1 bulan kemudian di Kalimantan Tengah.....	50
Gambar 23. Korelasi curah hujan bulanan dengan populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha pada 1 bulan kemudian di Sumatra Utara	51
Gambar 24. Perbandingan hubungan curah hujan dan populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha 1 bulan kemudian di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	51
Gambar 25. Hubungan populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha dengan <i>fruit set</i> kelapa sawit pada 6 bulan kemudian di Kalimantan Tengah.....	52
Gambar 26. Hubungan populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha dengan <i>fruit set</i> kelapa sawit pada 6 bulan kemudian di Sumatra Utara	52
Gambar 27. Perbandingan hubungan populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha dengan <i>fruit set</i> kelapa sawit pada 6 bulan kemudian di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	53
Gambar 28. Pengaruh periode jam hujan dengan <i>fruit set</i> kelapa sawit yang terbentuk di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	54
Gambar 29. Diagram jalur hubungan antara curah hujan, populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dan pembentukan <i>fruit set</i> kelapa sawit di Kalimantan Tengah	55
Gambar 30. Diagram jalur hubungan antara curah hujan, populasi kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dan pembentukan <i>fruit set</i> kelapa sawit di Sumatra Utara.....	56
Gambar 31. Zona ideal VPD untuk tanaman kelapa sawit dan serangga polinator (diolah dari Allen <i>et al.</i> , 1998; Syed, 1982)	60
Gambar 32. Pemasangan perangkat lem kuning di atas tandan bunga jantan mekar	62
Gambar 33. Pemasangan perangkat lem kuning di atas tandan bunga betina mekar	62
Gambar 34. Pemasangan perekam video pada bunga kelapa sawit mekar	63
Gambar 35. Proses analisis hasil sekuensing dari platform Illumina.....	66
Gambar 36. Kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> harian pada bunga jantan kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	67

Gambar 37. Kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> harian pada bunga betina kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	67
Gambar 38. Kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan dan betina harian pada bunga jantan kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah.....	69
Gambar 39. Kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan dan betina harian pada bunga betina kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah.....	69
Gambar 40. Kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan dan betina harian pada bunga jantan kelapa sawit mekar di Sumatra Utara	70
Gambar 41. Kunjungan kumbang <i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan dan betina harian pada bunga betina kelapa sawit mekar di Sumatra Utara	70
Gambar 42. Rerata suhu harian pada lokasi pengamatan di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	74
Gambar 43. Korelasi suhu dan kunjungan kumbang total pada bunga jantan kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	74
Gambar 44. Korelasi suhu dan kunjungan kumbang total pada bunga betina kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	75
Gambar 45. Rerata kelembapan relatif (RH) harian pada lokasi pengamatan di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	76
Gambar 46. Korelasi RH dan kunjungan kumbang total pada bunga jantan kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	77
Gambar 47. Korelasi RH dan kunjungan kumbang total pada bunga betina kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	77
Gambar 48. Rerata nilai VPD harian pada lokasi pengamatan di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	79
Gambar 49. Korelasi nilai VPD dan kunjungan kumbang total pada bunga jantan kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	80
Gambar 50. Korelasi nilai VPD dan kunjungan kumbang total pada bunga betina kelapa sawit mekar di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	80
Gambar 51. Jumlah gen yang bersifat <i>down-regulated</i> dan <i>up-regulated</i> antara sampel RNA-seq <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dari Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	84
Gambar 52. Analisis <i>heatmap</i> dari data RNA-seq <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dari Kalimantan Tengah (kiri, S_1990_1) dan Sumatra Utara (kanan, S_1990_2), warna merah <i>upregulated gene</i> , hijau <i>downregulated gene</i>	85

Gambar 53. Wadah inkubator untuk pengambilan sampel kumbang jantan dan betina <i>Elaeidobius kamerunicus</i> (kiri) dengan cara menggunakan aspirator (kanan).....	90
Gambar 54. Tandan bunga jantan (kiri) dan betina (kanan) kelapa sawit yang terbungkus dengan kantung polinasi	91
Gambar 55. Desain gelas plastik untuk pengujian biologi <i>Elaeidobius kamerunicus</i>	92
Gambar 56. Desain olfaktometer sederhana untuk pengujian preferensi kumbang terhadap bunga jantan dan betina kelapa sawit mekar harian.....	93
Gambar 57. Jumlah telur yang diletakkan setiap hari dari setiap kumbang betina <i>Elaeidobius kamerunicus</i> dari perlakuan pemberian pakan hanya bunga jantan kelapa sawit mekar (J) atau bunga jantan dan betina mekar (JB) serta perlakuan kumbang KH (kumbang jantan dan betina asal Kalimantan Tengah), BK (kumbang jantan dan betina asal Sumatra Utara), BH (kumbang jantan asal Sumatra Utara dan betina asal Kalimantan Tengah), dan HB (kumbang jantan asal Kalimantan Tengah dan betina asal Sumatra Utara).....	95
Gambar 58. Preferensi kumbang jantan <i>Elaeidobius kamerunicus</i> pada bunga kelapa sawit jantan dan betina mekar atau tidak memilih keduanya dari perlakuan kumbang KH (kumbang jantan dan betina asal Kalimantan Tengah), BK (kumbang jantan dan betina asal Sumatra Utara), BH (kumbang jantan asal Sumatra Utara dan betina asal Kalimantan Tengah), dan HB (kumbang jantan asal Kalimantan Tengah dan betina asal Sumatra Utara)	102
Gambar 59. Preferensi kumbang betina <i>Elaeidobius kamerunicus</i> pada bunga kelapa sawit jantan dan betina mekar atau tidak memilih keduanya dari perlakuan kumbang KH (kumbang jantan dan betina asal Kalimantan Tengah), BK (kumbang jantan dan betina asal Sumatra Utara), BH (kumbang jantan asal Sumatra Utara dan betina asal Kalimantan Tengah), dan HB (kumbang jantan asal Kalimantan Tengah dan betina asal Sumatra Utara)	102
Gambar 60. Skema penghitungan <i>fruit set</i> 9 kuadran: A. Tandan sampel yang dibagi menjadi tiga kelompok spikelet berdasarkan posisi (ujung, tengah, pangkal); B. Posisi buah pada setiap spikelet yang dibagi menjadi tiga kelompok (luar, tengah, dalam); C. Buah jadi (berkembang karena penyerbukan, memiliki inti) dan buah tidak jadi (tidak memiliki biji) yang terbentuk	109
Gambar 61. Korelasi antara <i>fruit set</i> , <i>fruit to bunch</i> , berat tandan dan rendemen minyak (OER) kelapa sawit dari hasil pengujian penyerbukan	115
Gambar 62. <i>Fruit set</i> kelapa sawit 9 kuadran rerata dari perlakuan kumbang KH (<i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan dan betina asal Kalimantan Tengah) pada berbagai <i>sex ratio</i> jantan:betina dengan jumlah 60 dan 120 kumbang/tandan bunga betina.....	117

Gambar 63. <i>Fruit set</i> kelapa sawit 9 kuadran rerata dari perlakuan kumbang BK (<i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan dan betina asal Sumatra Utara) pada berbagai <i>sex ratio</i> jantan:betina dengan jumlah 60 dan 120 kumbang/tandan bunga betina.....	118
Gambar 64. <i>Fruit set</i> kelapa sawit 9 kuadran rerata dari perlakuan kumbang BH (<i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan asal Sumatra Utara dan betina asal Kalimantan Tengah) pada berbagai <i>sex ratio</i> jantan:betina dengan jumlah 60 dan 120 kumbang/tandan bunga betina	119
Gambar 65. <i>Fruit set</i> kelapa sawit 9 kuadran rerata dari perlakuan kumbang HB (<i>Elaeidobius kamerunicus</i> jantan asal Kalimantan Tengah dan betina asal Sumatra Utara) pada berbagai <i>sex ratio</i> jantan:betina dengan jumlah 60 dan 120 kumbang/tandan bunga betina	120
Gambar 66. <i>Fruit set</i> kelapa sawit 9 kuadran rerata dari perlakuan kontrol tanpa pembersihan seludang bunga betina (<i>Open Pollinated</i>) dan dengan pembersihan seludang serta disemprot polen kelapa sawit (<i>Aspol Open</i>).....	121

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sebaran rerata <i>fruit set</i> kelapa sawit bulanan di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara	156
Lampiran 2. Sebaran rerata populasi <i>Elaeidobius kamerunicus</i> per ha bulanan di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	156
Lampiran 3. Pengaruh periode jam hujan dengan <i>fruit set</i> kelapa sawit yang terbentuk di Kalimantan Tengah dan Sumatra Utara.....	157