

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN DEKAN/PENANGGUNGJAWAB PROGRAM PASCASARJANA.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PROMOTOR.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI.....	v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvii
INTISARI.....	xix
ABSTRACT.....	xx
I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Permasalahan	7
C. Tujuan Penelitian.....	7
D. Manfaat Penelitian.....	8
E. Keaslian Penelitian.....	8
F. Ruang Lingkup.....	11
II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
A. Kelapa sawit.....	13
B. Kebutuhan hara kelapa sawit.....	23
C. Pemuliaan kelapa sawit.....	32
D. Pewarisan dan penyimpangan hukum Mendel.....	48
III LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS.....	56
A. Landasan Teori.....	56
B. Hipotesis.....	59
IV METODE PENELITIAN.....	60
A. Waktu dan tempat penelitian.....	60
B. Alat Penelitian.....	60
1. Alat kerja di lapangan dan rumah kaca	60
a. Persilangan.....	60
b. Bibitan <i>Pre-nursery</i>	60
c. Penanaman dan perlakuan.....	60
d. Pengamatan, pengukuran karakter morfologis, dan pengambilan sampel.....	61
2. Alat kerja di laboratorium.....	61
a. <i>Genotyping</i> alel.....	61
b. Analisis ekspresi gen.....	63
c. Analisis aktivitas enzim.....	63
d. Analisis kandungan nutrisi media dan tanaman.....	64
C. Bahan Penelitian.....	64

1. Bahan tanam.....	64
2. Bahan kerja di rumah kaca.....	64
a. Persilangan.....	64
b. Bibitan <i>pre-nursery</i>	64
c. Penanaman dan percobaan.....	65
d. Pengamatan, pengukuran karakter morfologis, dan pengambilan sampel.....	65
3. Bahan kerja di laboratorium.....	65
a. <i>Genotyping</i> alel.....	65
b. Analisis ekspresi gen.....	66
c. Analisis aktivitas enzim.....	67
d. Analisis kandungan nutrisi media dan tanaman.....	67
D. Rancangan Penelitian.....	68
E. Cara Kerja.....	69
1. Kegiatan di kebun plasma.....	69
a. Penyungkupan bunga dan koleksi polen.....	69
b. Polinasi.....	69
c. Panen.....	71
d. Perkecambahan benih.....	71
2. Kegiatan di rumah kaca.....	73
a. Pemilihan dan seleksi bibit anakan klonal.....	73
b. Hidroponik kultur air.....	73
c. Pembuatan media hidroponik.....	74
d. Pemantauan media hidroponik.....	75
e. Pengambilan sampel.....	75
f. Pengukuran parameter pertumbuhan.....	76
3. Kegiatan di laboratorium.....	78
a. Deteksi marka.....	78
b. Analisis ekspresi gen.....	82
c. Analisis aktivitas enzim.....	87
d. Analisis korelasi genotipe-fenotipe.....	88
e. Analisis data.....	89
V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	90
A. Persilangan Induk Dura x Pisifera.....	90
1. Polinasi dan germinasi.....	90
2. <i>Pre-nursery</i> dan <i>genotyping</i> DxP.....	92
3. Pewarisan Mendel.....	106
B. Seleksi <i>ortet</i> dan <i>pre-nursery</i> bibit tanaman klonal.....	113
C. Hidroponik kultur air dan karakterisasi morfologis.....	115
1. Percobaan hidroponik dengan perlakuan dosis P.....	115
2. Karakter morfologis.....	117
a. Kualitatif.....	117
b. Kuantitatif.....	121
D. Ekspresi gen <i>EgPap3</i> dan <i>EgPti1</i>	162
E. Aktivitas enzim <i>acid phosphatase</i> dan <i>serine/threonine kinase</i>	179
F. Asosiasi genotipe-fenotipe.....	187
VI. PEMBAHASAN UMUM.....	193
VII. SIMPULAN DAN SARAN.....	210
A. Simpulan.....	210



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Identifikasi dan Karakterisasi Gen Terpaut Defisiensi Fosfor Pada Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Sigit Dwi Maryanto, Prof. Dr. Budi Setiadi Daryono, M.Agr.Sc.; Dr. Tri Rini Nuringtyas, S.Si., M.Sc.; Prof. Dr. Purnomo

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

B. Saran.....	210
C. Ringkasan.....	212
D. <i>Summary</i>	217
DAFTAR PUSTAKA.....	221
DAFTAR LAMPIRAN.....	235

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Daftar penelitian terkait pengembangan marka molekuler pada kelapa sawit	8
Tabel 2. Kriteria keaslian penelitian	11
Tabel 3. Standar dosis pemupukan kelapa sawit fase <i>main nursery</i> , tanaman belum menghasilkan (TBM), tanaman menghasilkan (TM).....	24
Tabel 4. Karakter fenotipe kuantitatif.....	78
Tabel 5. Primer gen target untuk RT-qPCR	86
Tabel 6. Hasil analisis statistik untuk probe 110 terdapat di gen <i>EgPap3</i> dan probe 120 terdapat di gen <i>EgPtil</i>	96
Tabel 7. Hasil pembacaan genotipe bibit pada gen <i>EgPap3</i>	101
Tabel 8. Hasil pembacaan genotipe bibit pada gen <i>EgPtil</i>	105
Tabel 9. Hasil perhitungan <i>chi-square</i> dihibrid.....	107
Tabel 10. Hasil perhitungan <i>chi-square</i> monohibrid berdasarkan gen <i>EgPap3</i>	110
Tabel 11. Hasil perhitungan <i>Chi-square</i> monohibrid berdasarkan gen <i>EgPtil</i>	112
Tabel 12. Interaksi genotipe dan dosis pada karakter kuantitatif di tanaman klonal ..	138
Tabel 13. Interaksi genotipe dan dosis pada karakter kuantitatif di tanaman DXP Deli-AVROS.....	156
Tabel 14. Konsentrasi dan kemurnian RNA sampel akar dan daun	165

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Susunan organ kelapa sawit	16
Gambar 2. Diagram struktur akar kelapa sawit	17
Gambar 3. Bagan susunan daun kelapa sawit	19
Gambar 4. Bunga kelapa sawit	21
Gambar 5. Struktur buah kelapa sawit	23
Gambar 6. Bagan penyerapan, transportasi, dan remobilisasi P pada tanaman	27
Gambar 7. Mekanisme reaksi pada <i>PAPs</i>	44
Gambar 8. Regulasi molekuler <i>Pap</i> tanaman monokotil dan dikotil pada kondisi defisiensi P.....	46
Gambar 9. Peta jalan penelitian.....	68
Gambar 10. Alur penelitian.....	68
Gambar 11. Diagram Dura x Pisifera	71
Gambar 12. Desain hidroponik.....	74
Gambar 13. Konsentrasi larutan stok dan komposisi nutrisi hidroponik	75
Gambar 14. Tandan dan biji kelapa sawit	91
Gambar 15. Kecambah F1 Tenera D x P Deli-AVROS	92
Gambar 16. Kondisi bibit tanaman dari biji pra-hidroponik	93
Gambar 17. Hasil distribusi gen penanda efisiensi penyerapan P	94
Gambar 18. Posisi SNP yang terdeteksi pada <i>isotig00293</i>	95
Gambar 19. Posisi SNP yang terdeteksi pada <i>isotig00947</i>	95
Gambar 20. Hasil uji kualitatif dan kuantifikasi DNA	98
Gambar 21. Profil hasil <i>Sanger-sequencing</i>	99
Gambar 22. Profil PCR pada sampel tanaman kelapa sawit	100
Gambar 23. Elektrogram pemotongan oleh enzim restriksi <i>NlaIV</i> pada sekuen gen <i>EgPap3</i>	100
Gambar 24. Desain primer <i>unlabelled probe high resolution melting</i> (UP-HRM)	102
Gambar 25. Urutan sekuen nukleotida gen <i>EgPti1</i> dengan posisi titik SNP yang menjadi marka pembeda dari hasil pembacaan <i>Sanger-sequencing</i>	102
Gambar 26. Kurva profil pembacaan genotipe menggunakan metode <i>unlabelled probe high resolution melting</i> (UP-HRM)	103
Gambar 27. Diagram persilangan dihibrid DxP Deli-AVROS	107
Gambar 28. Persilangan monohibrid DxP Deli-AVROS berdasarkan marka SNP pada gen <i>EgPap3</i>	110
Gambar 29. Persilangan monohibrid DxP Deli-AVROS berdasarkan marka SNP pada gen <i>EgPti1</i>	112
Gambar 30. Tahapan perbanyakan tanaman klonal kelapa sawit	114
Gambar 31. Kondisi bibit tanaman klonal pra-hidroponik umur tiga bulan	115
Gambar 32. Percobaan hidroponik dengan variasi 3 dosis P.....	116
Gambar 33. Kondisi percobaan hidroponik	117
Gambar 34. Kondisi trial hidroponik pada dosis yang berbeda pada umur 90 HSP	117
Gambar 35. Karakter morfologi kualitatif tanaman klonal kelapa sawit	118
Gambar 36. Karakter morfologi kualitatif bibit DxP kelapa sawit	120
Gambar 37. Perbandingan tinggi tanaman klonal antar genotipe dan dosis P	122
Gambar 38. Perbandingan diameter batang tanaman klonal antar genotipe dan dosis P.....	124
Gambar 39. Perbandingan jumlah daun tanaman klonal antar genotipe dan dosis P	125
Gambar 40. Perbandingan luas area daun tanaman klonal antar genotipe dan dosis P	126
Gambar 41. Perbandingan panjang akar tanaman klonal antar genotipe dan dosis P	128

Gambar 42 Perbandingan jumlah akar primer tanaman klonal antar genotipe dan dosis P ...	129
Gambar 43. Perbandingan jumlah akar sekunder tanaman klonal antar genotipe dan dosis P..	131
Gambar 44. Perbandingan rasio pucuk-akar tanaman klonal antar genotipe dan dosis P.....	132
Gambar 45. Perbandingan biomassa tanaman klonal antar genotipe dan dosis P.....	133
Gambar 46. Perbandingan kadar P tanaman klonal antar genotipe dan dosis P	134
Gambar 47. Perbandingan klorofil tanaman klonal antar genotipe dan dosis P	136
Gambar 48. Nilai serapan P tanaman klonal antar genotipe dan dosis P.....	137
Gambar 49. Perbandingan tinggi bibit DxP antar genotipe dan dosis P	140
Gambar 50. Perbandingan diameter batang bibit DxP antar genotipe dan dosis P.....	141
Gambar 51. Perbandingan jumlah daun bibit DxP antar genotipe dan dosis P.....	142
Gambar 52. Perbandingan luas area bibit DxP antar genotipe dan dosis P	144
Gambar 53. Perbandingan panjang akar bibit DxP antar genotipe dan dosis P	145
Gambar 54. Perbandingan jumlah akar primer bibit DxP antar genotipe dan dosis P	147
Gambar 55. Perbandingan jumlah akar sekunder bibit DxP antar genotipe dan dosis P	148
Gambar 56. Perbandingan rasio pucuk-akar bibit DxP antar genotipe dan dosis P	150
Gambar 57. Perbandingan biomassa bibit DxP antar genotipe dan dosis P).....	151
Gambar 58. Perbandingan kadar P bibit DxP antar genotipe dan dosis P	152
Gambar 59. Perbandingan delta klorofil bibit DxP antar genotipe dan dosis P.....	154
Gambar 60. Nilai serapan P tanaman bibit hasil persilangan DxP antar genotipe dan dosis P..	155
Gambar 61. Hasil elektroforesis RNA total pada sampel akar dan daun	164
Gambar 62. Konfirmasi PCR gen target pada klonal dan bibit.....	167
Gambar 63. Kurva standar gen target	169
Gambar 64. Ekspresi gen <i>EgPap3</i> genotipe homozigot dominan/prolifik (A) vs genotipe heterozigot/non-prolifik (B) dengan membandingkan antar perlakuan pada kelompok durasi waktu perlakuan sama pada sampel akar-daun tanaman klonal sawit	170
Gambar 65. Ekspresi gen <i>EgPti1</i> genotipe homozigot dominan/prolifik (A) vs genotipe heterozigot/non-prolifik (B) dengan membandingkan antar perlakuan pada kelompok durasi waktu perlakuan sama pada sampel akar-daun tanaman klonal sawit	172
Gambar 66. Ekspresi gen <i>EgPap3</i> pada delapan kombinasi alel perlakuan kelaparan P (P1) dan kekurangan-P (P2) dengan durasi perlakuan 90 HSP dan 180 HSP.....	176
Gambar 67. Ekspresi gen <i>EgPti1</i> pada delapan kombinasi alel perlakuan kelaparan P (P1) dan kekurangan-P (P2) dengan durasi perlakuan 90 HSP dan 180 HSP	179
Gambar 68. Aktivitas enzim tanaman klonal pada kondisi kelaparan dan kekurangan P.....	182
Gambar 69. Aktivitas enzim tanaman klonal pada kondisi kelaparan P, kekurangan P	183
Gambar 70. Aktivitas enzim tanaman hasil persilangan DxP perlakuan kelaparan dan kekurangan P.....	186
Gambar 71. Aktivitas enzim tanaman hasil persilangan DxP pada kondisi kelaparan P, kekurangan P, dan optimum P	186
Gambar 72. Hasil analisis komponen utama (PCA) untuk mengetahui asosiasi antara genotipe dan fenotipe terhadap respons P pada tanaman klonal	188
Gambar 73. Hasil analisis komponen utama (PCA) untuk mengetahui asosiasi antara genotipe dan fenotipe terhadap respons terhadap fosfor pada bibit persilangan DxP.....	189
Gambar 74. Asosiasi genotipe-fenotipe aktivitas enzim	191

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Konsentrasi DNA sampel daun	235
Lampiran 2. Data pengukuran morfologi klonal	236
Lampiran 3. Data pengukuran morfologi bibit DxP	237
Lampiran 4. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPti1</i> pada akar 90 HSP	238
Lampiran 5. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPti1</i> pada daun 90 HSP	239
Lampiran 6. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPap3</i> pada akar 90 HSP	240
Lampiran 7. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPap3</i> pada daun 90 HSP	241
Lampiran 8. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPti1</i> pada akar 180 HSP	242
Lampiran 9. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPti1</i> pada daun 180 HSP.....	243
Lampiran 10. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPap3</i> pada akar 180 HSP.....	244
Lampiran 11. Data perhitungan ekspresi gen <i>EgPap3</i> pada daun 180 HSP.....	245
Lampiran 12. Data pengukuran enzim <i>serine/threonine kinase</i> dan <i>Apase</i>	246
Lampiran 13. Penghitungan statistik pada tanaman klonal.....	247
Lampiran 14. Penghitungan statistik pada tanaman bibit hasil persilangan DxP.....	247

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

ABA	: abscisic acid
ADP	: adenosin difosfor
ACTB	: β -Actin
ARF	: auxin response factor
ATP	: adenosin trifosfor
CAPS	: cleavage amplified polymorphism sequence
cDNA	: complementary DNA
CPO	: crude palm oil
D	: dura
DEG	: differential expression gene
DNA	: deoksiribonucleic acid
D x P	: persilangan dura dan pisifera
<i>EgPap3</i>	: gen <i>purple acid phosphatase 3</i> pada tanaman kelapa sawit
<i>EgPti1</i>	: gen <i>Pto-interaction 1</i> pada tanaman kelapa sawit
FFA	: free fatty acid
FFB	: fresh fruit bunch
GAPDH	: glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase
HSP	: hari setelah perlakuan
<i>In-silico</i>	: metode penelitian yang menggunakan simulasi komputer dan basis data
KASP	: kompetitive allele-specific PCR
MN	: <i>main nursery</i>
MAPKK	: Mitogen-activated protein kinase kinase
MPK6	: MAP kinase 6
mRNA	: messenger RNA
netral	: genotipe intermediat efisien P
non prolifrik	: genotipe tidak efisien P
OXI1	: oxidative signal-inducible 1
P	: fosfor
P1	: dosis kelaparan P

P2	: dosis kekurangan P
P3	: dosis optimum P
PAP	: <i>purple acid phosphatase</i>
PCA	: principal component analysis
PCR	: polymerase chain reaction
PKD1	: 3-phosphoinositide-dependent protein kinase-1
Pi	: fosfor
PKO	: palm kernel oil
PN	: pre-nursery
Prolifik	: genotipe efisien P
Pti	: <i>Pto-interaction</i>
RNA	: ribonucleic acid
rRNA	: ribosomal RNA
ROS	: reactive oxygen species
RT-qPCR	: real time quantitative polymerase chain reaction
SNP	: single nucleotide polymorphism
SNAP	: single Nucleotide Amplified Polymorphism
SPX-MFS	: spexin-Major Facility Superfamily
T	: tenera (hasil persilangan dura dan pisifera)
TBS	: tandan buah segar
tRNA	: transfer RNA
UP-HRM	: unlabelled probe high resolution melting