



# FISIOLOGI ADAPTASI TANAMAN

terhadap Cekaman Abiotik  
pada Agroekosistem Tropika



Prof Dr Ir Didy Sopandie, MAgr

# FISIOLOGI ADAPTASI TANAMAN terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika

Prof Dr Ir Didy Sopandie, MAgr

Copyright © 2013 Prof Dr Ir Didy Sopandie, MAgr

Penyunting : Nia Januarini  
Desain Sampul : Ardhya Pratama  
Penata Isi : Ardhya Pratama  
Korektor : Yuki HE Frandy

PT Penerbit IPB Press  
Kampus IPB Taman Kencana Bogor

Cetakan Pertama: Januari 2014

Dicetak oleh Percetakan IPB

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang  
Dilarang memperbanyak buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit

ISBN 978-979-493-578-1

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Permasalahan dan Tantangan Pengembangan Pertanian Tahun 2030 .....	1
1.2 Ketersediaan Lahan Garapan Saat Ini dan Proyeksi Kebutuhan Lahan Baru .....	4
1.3 Potensi Sumber Daya Lahan dan Air untuk Tanaman Pangan .....	5
1.3.1 Lahan yang Sesuai untuk Pertanian Tanaman Pangan.....	5
1.3.2 Ketersediaan dan Potensi Sumber Daya Air.....	7
II ADAPTASI TANAMAN TERHADAP CEKAMAN TANAH MASAM .....	9
2.1 Karakteristik Tanah Masam dengan Kandungan Al Tinggi.....	9
2.2 Pengaruh Cekaman Aluminium terhadap Tanaman .....	12
2.3 Mekanisme Toleransi terhadap Cekaman Aluminium .....	21
III ADAPTASI TANAMAN TERHADAP LAHAN DENGAN KETERSEDIAAN FOSFOR RENDAH.....	29
3.1 Karakteristik Tanah dengan P Rendah.....	29
3.2 Respons Fisiologi terhadap Cekaman Defisiensi Fosfor .....	30

## Daftar Isi

3.3	Tanaman Toleran P Rendah .....	33
3.4	Mekanisme Adaptasi Tanaman terhadap P Rendah .....	35
IV	ADAPTASI TANAMAN TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN DI LAHAN TADAH HUJAN .....	43
4.1	Karakteristik Lahan Tadah Hujan .....	43
4.2	Cekaman Kekeringan .....	44
4.2.1	Respons Fisiologi terhadap Cekaman Kekeringan .....	44
4.2.2	Respons Biokimia .....	45
4.2.3	Respons Molekuler .....	46
4.3	Mekanisme Adaptasi terhadap Cekaman Kekeringan.....	47
4.3.1	Mekanisme Toleransi Secara Fisiologi.....	48
4.3.2	Sensor Cekaman Kekeringan dan <i>Signal</i> Transduksi.....	49
4.3.3	Gen-gen Terinduksi pada Tingkat Transkripsi .....	51
4.3.4	Protein yang Terinduksi oleh Cekaman Kekeringan .....	52
4.3.5	Cekaman Oksidatif yang Disebabkan oleh Dehidrasi.....	54
V	ADAPTASI TANAMAN TERHADAP CEKAMAN LAHAN PASANG SURUT DAN SULFAT MASAM .....	55
5.1	Karakteristik Lahan Sulfat Masam .....	55
5.2	Dampak Oksidasi Pirit terhadap pH, Al, dan Fe dalam Larutan Tanah.....	60
5.3	Toksisitas Al dan Fe terhadap Tanaman .....	62
5.4	Mekanisme Adaptasi Tanaman terhadap Lahan Pasang Surut .....	63
VI	ADAPTASI TANAMAN TERHADAP CEKAMAN SALINITAS .....	69
6.1	Karakteristik Lahan Salin .....	69
6.2	Mekanisme Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Salinitas.....	71
6.2.1	Adaptasi Fisiologi.....	74
6.2.2	Adaptasi Molekuler.....	75

VII ADAPTASI TANAMAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DAN CEKAMAN SUHU TINGGI.....	77
7.1 Dampak Perubahan Iklim.....	78
7.1.1 Peningkatan Kadar CO <sub>2</sub> .....	78
7.2 Cekaman Suhu Tinggi .....	82
7.2.1 Batas Suhu Tinggi .....	84
7.2.2 Tanggap Tanaman terhadap Cekaman Suhu Tinggi.....	86
7.2.3 Respons Fisiologi.....	89
7.2.4 Respons Molekuler .....	95
7.2.5 Mekanisme Toleransi terhadap Suhu Tinggi .....	98
7.2.6 Pencapaian Termotoleran .....	100
7.2.7 Temperatur untuk <i>Sensing</i> dan <i>Signaling</i> .....	100
VIII ADAPTASI TANAMAN TERHADAP INTENSITAS CAHAYA RENDAH.....	103
8.1 Lahan di Bawah Tegakan dengan Intensitas Cahaya Rendah .....	103
8.2 Pengaruh Naungan terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman.....	104
8.3 Mekanisme Adaptasi Tanaman terhadap Intensitas Cahaya Rendah (ICR).....	107
IX PERBAIKAN PRODUKTIVITAS TANAMAN BERBASIS FISILOGI UNTUK LAHAN SUB-OPTIMAL .....	113
9.1 Perbaikan Tanaman untuk Adaptasi pada Lahan Sub-Optimal..	114
9.1.1 Perbaikan Tanaman ( <i>Crop Improvement</i> ) untuk Toleransi terhadap P Rendah .....	118
9.1.2 Perbaikan Tanaman untuk Toleransi terhadap Kekeringan .....	119
9.1.3 Perbaikan Tanaman untuk Toleransi terhadap Cekaman Aluminium .....	122
9.1.4 Perbaikan Tanaman untuk Toleransi terhadap Naungan...	123
9.1.5 Perbaikan Tanaman untuk Toleransi terhadap Salinitas ....	128
9.1.6 Perbaikan Tanaman untuk Toleransi terhadap Cekaman Suhu Tinggi.....	129

## DAFTAR TABEL

1. Perkiraan kasar kekurangan lahan menurut kebutuhan pangan Indonesia tahun 2005–2010 ..... 4
2. Perbandingan luas lahan pertanian dengan jumlah penduduk beberapa negara di dunia..... 5
3. Perbedaan panjang akar dan bobot kering akar pada berbagai kejenuhan Al..... 15
4. Tanaman yang adaptif terhadap kadar Al tinggi di lapang ..... 22
5. Beberapa tanaman yang menyekresikan asam organik sebagai strategi eksklusi Al dari ujung akar ..... 23
6. Adaptasi tanaman terhadap P rendah ..... 34
7. Pengaruh genotipe sorgum terhadap karakter malai pada 14 MST ..... 34
8. Respons tanaman terhadap keadaan kahat P ..... 36
9. Jenis dan varietas tanaman pangan yang adaptif di lahan sulfat masam ..... 65
10. Ambang batas salinitas beberapa tanaman dan persentase penurunan hasil pada kondisi salin..... 70
11. Tingkat adaptasi tanaman terhadap Na berdasarkan Na yang dapat ditukarkan di lapang ..... 71
12. Respons tanaman terhadap salinitas ..... 73
13. Batas suhu tinggi beberapa tanaman..... 85
14. Suhu letal (*heat-killing temperatures*) untuk beberapa tanaman ..... 86
15. Genotipe tanaman yang adaptif pada intensitas cahaya rendah..... 104
16. Potensi hasil galur-galur toleran naungan di bawah tegakan karet di Desa Sebapo Kecamatan Muaro Jambi, Jambi ..... 127

## DAFTAR GAMBAR

1. Pengaruh pH terhadap aktivitas relatif Al..... 11
2. Akar barley var. Kearney (kiri) dan Dayton (kanan) yang ditanam pada tanah masam dengan pH 4,6 ..... 14
3. Perbedaan panjang akar genotipe toleran Sindoro dan genotipe peka Lumut. Dari kiri ke kanan untuk masing-masing genotipe adalah perlakuan kejenuhan Al 70,4, 58,2, 31,7, dan 12,9% ..... 16
4. Pengaruh Al terhadap panjang akar empat genotipe kedelai ..... 16
5. Pengaruh Al terhadap kedelai Zhechun 2 dan Zhechun 3 (a). Berat kering akar, (b) panjang akar..... 18
6. Ujung akar sel kedelai Z3. (a). Pada perlakuan 60 mg/L terjadi plasmolisis, degradasi sitoplasma, disintegrasi nukleus, dan mitokondria hilang; (b). Pada perlakuan 90 mg/L terjadi degradasi isi sel..... 19
7. Distribusi Al pada ujung akar kedelai genotipe Lumut dan Yellow Biloxi dengan pewarnaan *hematoxilin*..... 20
8. Evaluasi padi gogo dan kedelai toleran Al di lahan masam Gajrug, Jasinga (kejenuhan Al 76%;  $Al_{dd}$  13 me/100g; pH 4,2) ..... 23
9. Mekanisme detoksifikasi Al dalam sel tanaman toleran Al..... 25
10. Evaluasi tanaman padi toleran P rendah di Ultisols Jasinga. P Bray I 0.13 ppm (sangat rendah); T= toleran, P= peka..... 33
11. Urutan gen-gen yang berubah ekspresinya saat terinduksi kahat P secara hipotetik..... 40

## Daftar Gambar

12. Difusi oksigen secara vertikal dari atmosfer melalui pori makro. Oksigen yang terlarut dalam larutan tanah akan berdifusi ke matriks tanah yang jenuh air. Di dalam matriks ini, oksigen terlarut akan dipakai untuk 2 hal: dekomposisi bahan organik dan oksidasi pirit (Keterangan:  $R$  = radius rata-rata agregat tanah;  $r_0$  = radius zone anaerob) ..... 58
13. Skema yang menggambarkan beberapa kemungkinan reaksi selama oksidasi pirit ..... 59
14. Pola reduksi-oksidasi tanah dan kelarutan  $Fe^{2+}$  musiman dalam satu tahun pada tanah sulfat masam di daerah Delta Mekong, Vietnam ..... 60
15. Morfologi akar 8 varietas padi umur 7 hari setelah perlakuan tanpa cekaman Fe dan cekaman 700 ppm Fe..... 63
16. Mekanisme toleransi dan penghindaran tanaman terhadap logam..... 66
17. Transpor Fe pada dikotil ..... 67
18. Penampilan tanaman *barley* pada berbagai konsentrasi NaCl dan Ca..... 73
19. Suhu tinggi menginduksi penghambatan evolusi oksigen dan aktivitas PSII. Suhu tinggi menyebabkan (1) disosiasi atau (2) penghambatan OEC. Hal ini menyebabkan donor e-internal alternatif seperti prolin sebagai pengganti  $H_2O$  untuk mendonorkan elektron kepada PSII ..... 91
20. Representasi skematis pembentukan dan penghilangan radikal superoksida, hidrogen peroksida, radikal *hydroxyl* pada kondisi berbagai cekaman lingkungan..... 96
21. Mekanisme hipotetis toleransi terhadap cekaman suhu tinggi pada tanaman. MAPK, *mitogen activated protein kinases*; ROS, *reactive oxygen species*; HAMK, *heat shock activated MAPK*; HSE, *heat shock element*; HSPs, *heat shock proteins*; CDPK, *calcium dependent protein kinase*; HSK, *histidine kinase*..... 101
22. Evaluasi padi gogo (Chozin *et al.* 1999) dan kedelai toleran intensitas cahaya rendah (Sopandie *et al.* 2003a) di bawah tegakan karut ..... 105



23. Mekanisme penghindaran (*avoidance*) adaptasi tanaman terhadap intensitas cahaya rendah ..... 106
24. Mekanisme toleransi (*tolerance*) adaptasi tanaman terhadap intensitas cahaya rendah ..... 107
25. Struktur kloroplas pada perlakuan gelap 5 hari setelah 14 hari ditanam pada cahaya 100% (TEM 15000x). A=pati; G=Grana; P=Plastoglobuli; S=Stroma, dan tanda panah menunjukkan membran kloroplas yang hancur. T=toleran naungan, P=peka naungan ..... 110
26. Sinergisme antarkomponen perbaikan tanaman di lingkungan sub-optimal ..... 113
27. Skema hubungan antara potensi hasil, fenologi, dan karakter toleransi kekeringan dengan hasil panen pada berbagai taraf cekaman ..... 115
28. Seleksi marka menggunakan *bulk segregant analysis* ..... 126
29. Tahapan kunci (*key steps*) pada program pemuliaan tanaman (sisi kiri) dan peran riset fisiologi (sisi kanan) ..... 147