

PERTUMBUHAN DAN MORFOLOGI AKAR KELAPA SAWIT (*Elaeis guinensis* Jacq.) PADA SALINITAS GENANGAN BERBEDA

GROWTH AND MORPHOLOGY OF PALM OIL (*Elaeis guinensis* Jacq.) ROOT UNDER DIFFERENT WATERLOGGING SALINITY

Erick Firmansyah

Fakultas Pertanian Institut Pertanian Stiper Yogyakarta
Korespondensi: erick@instiperjogja.ac.id

ABSTRACT

Palm oil can experience high salinity waterlogging at the same place and time; however, the effects of these two conditions on growth and morphology of palm oil root was not fully understood. Research has been done by combining two levels of salinity (high salinity and low salinity) and three levels of waterlogging (without waterlogging, two-week waterlogging intervals, and four-week waterlogging intervals). The study was conducted in pots for 4 months used 4 months old oil palm planting material. The results show that high salinity and waterlogging consistently decrease the oil palm root growth parameter. Longer duration of waterlogging decreases root growth greater than shorter waterlogging. High salinity and waterlogging do not consistently change the ratio of the area of each primary, secondary, and tertiary root tissue. Palm oil forms *pneumatophore* and aerenchyma under both non saline and saline waterlogging. High salinity followed by waterlogging can compensate the negative effects of salt ions (Na^+ and Cl^-) through morphological adaptations, changes in ion absorption rate, and root membrane impermeability.

Keywords : Morphology, Palm oil, Root, Salinity, Waterlogging

PENDAHULUAN

Salinitas tanah, yang salah satunya disebabkan oleh NaCl merupakan penyebab kerusakan sumber daya lahan terluas di dunia (Golldack *et al.*, 2014; Läuchli & Grattan, 2007; Negrao *et al.*, 2016). Pada kondisi media tanam yang memiliki salinitas tinggi, tanaman menghadapi tantangan berupa hilangnya kemampuan tanaman untuk tetap menyerap unsur hara dan mencegah masuknya ion Na^+ dan Cl^-

yang bersifat racun. Pada saat yang sama, salinitas tinggi menyebabkan potensial air tanah lebih rendah dibandingkan non salin (Li *et al.*, 2015; Foster & Miklavcic, 2017).

Jouyban (2012) membagi efek negatif yang ditimbulkan salinitas tinggi menjadi dua, yaitu efek jangka pendek dan jangka panjang. Efek jangka pendek meliputi penurunan laju pertumbuhan akar tajuk yang sebagian disebabkan oleh defisit air. Efek jangka panjang yang dapat terjadi dalam beberapa minggu paparan yang

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

menyebabkan penyerapan dan penumpukan ion garam yang berlebih pada organ tanaman terutama pada akar dan daun tua.

Budidaya kelapa sawit saat ini mengalami berbagai macam cekaman lingkungan, berkaitan dengan perubahan iklim dan lokasi budidaya yang tidak sesuai. Genangan pada zona perakaran merupakan salah satu cekaman lingkungan utama yang dihadapi kelapa sawit di lahan budidaya (Koon & Kun, 2006). Tanah dikatakan mengalami genangan bila <10% pori makronya terisi oleh air (Shaw, 2015). Air yang menggenangi perakaran memiliki salinitas beragam, bahkan pada beberapa kondisi memiliki salinitas tinggi, terutama lahan yang masih dipengaruhi pasang surut air laut melalui badan – badan air, baik sungai maupun saluran irigasi. Salinitas tinggi juga dapat terjadi akibat pelarutan deposit garam di tanah, antara lain oleh ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Cl^- (Kim *et al.*, 2016; Machado & Serralheiro, 2017).

Genangan pada rizosfer menyebabkan terjadinya hambatan pertukaran gas dengan atmosfer (Jamil *et al.*, 2012) . Laju difusi gas pada kondisi tergenang mengalami penurunan 10.000 kali dibandingkan di udara (Rivera-mendes *et al.*, 2016). Selain itu, genangan juga menyebabkan berbagai pengaruh negatif lain terhadap tanaman, antara lain perubahan nilai kapasitas pertukaran kation (KTK) tanah, akumulasi senyawa beracun yang merupakan sisa

metabolism mikroorganisme anaerobic, serta gas – gas beracun seperti metana dan etanol.

Meskipun kelapa sawit merupakan tanaman mesophyta, namun dalam kurun waktu yang terbatas mampu beradaptasi pada kondisi tanah yang tersaturasi, namun tidak toleran terhadap genangan terus menerus (Rivera-mendes *et al.*, 2016). Pada kondisi media tanam tersaturasi, kelapa sawit memiliki toleransi lebih tinggi ketika berada pada air yang mengalir dibandingkan yang stagnan (Koon & Kun, 2006).

Saat media tanam mengalami genangan maka tanaman mengalami penurunan konsentrasi dan laju difusi oksigen pada rizhosfer (Koon & Kun, 2006; Jamil *et al.*, 2012; Rivera-mendes *et al.*, 2016). Salah satu tanggapan pertama tanaman pada kondisi tersebut adalah penurunan konduktansi stomata (Striker, 2012), sehingga terjadi penurunan pertukaran gas dan penyerapan air, menyebabkan terjadinya defisit air di dalam tubuh tanaman (Parent *et al.*, 2008).

Budidaya kelapa sawit di lahan yang tidak sesuai menyebabkan tanaman rentan mengalami genangan yang memiliki salinitas tinggi. Sehingga salinitas tinggi dan genangan pada lahan kelapa sawit dapat dimungkinkan terjadi pada tempat dan waktu yang sama. Interaksi antara salinitas tinggi dan genangan terhadap pertumbuhan

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

kelapa sawit belum banyak diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi antara salinitas tinggi dan genangan terhadap pertumbuhan dan perubahan morfologis perakaran kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan menggunakan bahan tanam kelapa sawit DxP Simalungun berumur 4 bulan selama 4 bulan di Kebun Penelitian dan Percobaan (KP2) Institut Pertanian Stiper Yogyakarta. Lokasi penelitian memiliki ketinggian 118 m dpl, dengan suhu rata-rata 31°C dan kelembapan nisbi (*Relative Humidity*, RH) 70%.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap 2 faktor, yaitu tingkat salinitas dan durasi genangan. Faktor pertama (tingkat salinitas) terdiri dari 2 aras; non salin ($0,3 \pm 0,2$ dS m⁻¹) dan salin ($4,9 \pm 0,2$ dS m⁻¹). Faktor kedua (durasi genangan) terdiri dari tiga aras; tanpa genangan, interval genangan 2 minggu (berselang seling 2 minggu tergenang dan 2 minggu tidak tergenang), dan interval genangan 4 minggu (berselang seling 4 minggu tergenang dan 2 minggu tidak tergenang). Masing-masing kombinasi

diulang lima kali sehingga diperoleh 30 satuan percobaan.

Pengamatan dan Analisis Hasil

Parameter pengamatan meliputi berat segar akar; berat kering akar; luas, dan volume akar. Data pengamatan disidik ragam (*analysis of variance*) dilanjutkan uji jarak berganda Duncan (*Duncan's Multiple range test*, DMRT) pada jenjang nyata 5% ($P \leq 0,05$) menggunakan perangkat lunak IBM® SPSS® Statistic v. 23 (IBM Corporation, Chicago, IL). Pengamatan morfologi akar dilakukan secara visual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Akar

Salinitas tinggi pada semua durasi genangan memberikan efek negatif terhadap performa kelapa sawit. Tingkat pengaruh negatif yang disebabkan salinitas tinggi bergantung pada durasi rendaman. Pengamatan secara visual menunjukkan salinitas tinggi tanpa genangan dan memberikan performa terendah, diikuti durasi rendaman non salin 4 minggu. Genangan non salin interval 2 minggu tidak berpengaruh nyata terhadap berat segar akar (Gambar 1.).

Kelapa sawit yang tumbuh pada tingkat salinitas berbeda memberikan

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

selisih pertumbuhan akar lebih besar dibandingkan akibat durasi genangan yang berbeda (Tabel 1.). Penurunan pertumbuhan tertinggi dibandingkan kontrol (non salin dan tanpa genangan) terjadi pada perlakuan salin tanpa genangan yaitu 57,14%, diikuti genangan salin 4 minggu (52,38%), non salin 4 minggu (47,62%), genangan salin 2 minggu (42,86%), genangan dan genangan non salin 2 minggu (14,25%).

Tanaman mengembangkan perakaran epigeal yang tumbuh melawan gravitasi (*negative geotropism*), disebut *pneumatophore*. Akar ini tumbuh memanjang hingga mencapai permukaan air dan pertumbuhannya terhenti ketika telah mencapai ketinggian ± 1 cm dari permukaan air (Gambar 2.).

Pada akhir penelitian diketahui bahwa tanaman yang mengalami durasi genangan dan tingkat salinitas berbeda membentuk *pneumatophore* dengan jumlah yang tidak sama. Kelapa sawit yang berada pada kondisi tergenang membentuk 14 – 60 *pneumatophore*. Tanaman yang mengalami genangan 4 minggu memiliki *pneumatophore* yang lebih banyak dibandingkan tanaman yang mengalami

genangan 2 minggu. *Pneumatophore* pada tanaman yang mengalami genangan salin lebih sedikit dibandingkan genangan non salin. Jumlah *Pneumatophore* yang paling sedikit terbentuk pada genangan salin 2 minggu, sementara yang terbanyak pada genangan non salin selama 4 minggu.

Genangan salin menyebabkan *pneumatophore* yang sedang tumbuh mengalami pencoklatan (*browning*) yang diikuti oleh kerusakan atau kematian akar. *Pneumatophore* yang terpapar udara bebas ketika dilakukan pengatusan air menunjukkan perubahan warna dari putih menjadi kuning kecoklatan. *Pneumatophore* ini bertahan hingga tanaman mengalami genangan pada interval berikutnya, namun warnanya tidak kembali menjadi putih.

Pneumatophore yang mampu mencapai permukaan air memiliki panjang bervariasi antara 1 – 12 cm, bergantung pada letak tumbuhnya. Struktur akar yang khas ini muncul dari akar primer pada jarak $< 0,1 - 15$ cm dari pangkal batang, sehingga dapat disebut sebagai modifikasi akar sekunder.



Gambar 1. Performa visual kelapa sawit umur 8 bulan pada tingkat salinitas dan genangan yang berbeda. A, non salin tanpa genangan (kontrol); b, genangan non salin 2 minggu; c, genangan non salin 4 minggu; d, salin tanpa genangan.

Tabel 1. Pertumbuhan akar kelapa sawit

	Perlakuan	Parameter pertumbuhan			
		Berat segar akar (g)	Berat kering akar (g)	Luas akar (cm ²)	Volume akar (cm ³)
Non salin	Tidak tergenang	65a	21a	11564a	77a
	Genangan 2 minggu	56a	18b	10324b	63b
	Genangan 4 minggu	44b	11cd	9154c	48cd
Salin	Tidak tergenang	18d	9e	6921e	38d
	Genangan 2 minggu	34bc	12c	8668cd	54bc
	Genangan 4 minggu	27cd	10de	7987de	52bc

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom menunjukkan tidak berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95% berdasarkan uji jarak berganda Duncan



Gambar 2. *Pneumatophore* kelapa sawit yang tumbuh pada kondisi tergenang. a, kemunculan *pneumatophore* yang dimulai sejak 10 hari pasca genangan; b, arah pertumbuhan *pneumatophore* yang melawan gravitasi (*negative geotropism*); c, *Pneumatophore* yang tumbuh pada kondisi genangan salin menunjukkan terjadinya pencoklatan (*browning*).

Secara visual *pneumatophore* berada pada jarak kurang dari 15 cm dari batang kelapa sawit. *Pneumatophore* kelapa sawit memiliki percabangan (akar tersier) yang dominan berada pada bagian pangkal akar

(<5 cm) dan ujungnya berbentuk tudung melebar. Percabangan akar ini memiliki arah pertumbuhan yang tegak lurus ke segala arah dari akar sekunder. Akar tersier yang muncul dari *pneumatophore* memiliki

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

panjang <4 cm, pendek pada pangkal semakin memanjang kemudian memendek lagi saat mendekati ujung.

Pembahasan

Genangan pada zona perakaran merupakan salah satu cekaman lingkungan utama yang dihadapi oleh kelapa sawit di lahan budidaya (Koon & Kun, 2006). Air yang menggenangi perakaran memiliki salinitas beragam, bahkan pada beberapa kondisi memiliki salinitas tinggi, terutama lahan yang masih dipengaruhi pasang surut air laut melalui badan – badan air / sungai. Salinitas tinggi juga dapat terjadi akibat pelarutan deposit garam di tanah, antara lain Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Cl^- (Kim *et al.*, 2016; Machado & Serralheiro, 2017).

Penurunan laju pertumbuhan yang dicerminkan melalui rendahnya akumulasi biomassa pada kondisi salin di semua rejim air dibandingkan kontrol (non salin tanpa genangan) menunjukkan bahwa tanaman mengalami cekaman. Masuknya ion natrium dan klorida ke tubuh tanaman melalui mekanisme pasif (aliran massa) dan aktif (pompa ion Na^+/K^+) (Fakhrfeshani *et al.*, 2015). Endodermis berperang penting dalam mengatur transpor ion secara radial dari larutan tanah menuju xilem akar, hal ini karena pita caspari bersifat impermeable sehingga mencegah terjadinya pergerakan

larutan secara apoplastik (Chen *et al.*, 2011).

Tantangan yang dihadapi tanaman pada kondisi salin adalah tanaman harus tetap menyerap nutrisi dan mencegah masuknya ion toksin, sementara potensial air lebih rendah dari kondisi non salin (Li *et al.*, 2015; Foster & Miklavcic, 2017). Efek cekaman yang ditimbulkan oleh salinitas tinggi dapat dibagi menjadi dua, yaitu efek jangka pendek dan jangka panjang (Jouyban, 2012). Efek jangka pendek melibatkan penurunan pertumbuhan, diduga akibat respon akar terhadap defisit air. Efek jangka panjang terjadi dalam hitungan beberapa minggu paparan yang menyebabkan penyerapan dan penumpukan ion garam pada organ tanaman terutama pada akar.

Pengaruh toksin dari sodium dan klorida merupakan penyebab kerusakan akar, dimana kedua unsur tersebut menyebabkan disintegrasi membran sel (Grattan & Lauchli, 2007; Jamil *et al.*, 2012; Negrao *et al.*, 2017). Salinitas tinggi menurunkan penyerapan air dan nutrisi, antara lain kalsium dan kalium. Salah satu fungsi kalsium adalah mempertahankan integritas membran (Jamil *et al.*, 2012). Penurunan serapan kalsium disebabkan meningkatnya rasio $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, yang juga berkontribusi menurunkan pertumbuhan akar (Munns, 2002; Firmansyah *et al.*, 2016; Machado & Serralheiro, 2017).

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

Konsentrasi K^+ pada jaringan tanaman terbukti mengalami penurunan ketika terpapar oleh cekaman salin (Morales *et al.*, 2012).

Rendahnya K^+ merupakan akibat dari hambatan penyerapannya oleh tingginya Na^+ (Fakhrfeshani *et al.*, 2015). Kelapa sawit mampu beradaptasi pada kondisi muka air tanah yang tinggi, namun tidak toleran terhadap genangan terus menerus (Rivera-mendes *et al.*, 2016). Kelapa sawit memiliki toleransi lebih lama ketika berada pada genangan air yang mengalir dibandingkan air yang stagnan (Koon & Kun, 2006). Genangan non salin selama dua minggu diduga masih berada pada kisaran toleransi kelapa sawit, Penurunan yang signifikan pada seluruh parameter pertumbuhan akar terjadi pada durasi genangan empat minggu.

Genangan merupakan kondisi dimana jumlah air berlebih pada zona perakaran menyebabkan hambatan pertukaran gas dengan atmosfer (Jamil *et al.*, 2012) . Secara umum difusi gas pada kondisi tergenang 10.000 kali lebih lambat dibandingkan di udara (Rivera-mendes *et al.*, 2016). Genangan menyebabkan berbagai pengaruh sekunder seperti perubahan elektrokimia, akumulasi pemecahan produk dari bahan organik sebagaimana telah dibahas oleh Ponnampuruma (1972).

Adaptasi Morfologi

Analisis terhadap pertumbuhan akar kelapa sawit menunjukkan adanya hubungan sinergis kompensatif antara salinitas tinggi dan genangan pada durasi tertentu. Salinitas tinggi yang diikuti dengan genangan terbukti menurunkan efek negatif yang disebabkan oleh Na^+ dan Cl^- . Pada kondisi salin, genangan empat minggu memberikan laju pertumbuhan yang tidak berbeda nyata dengan genangan dua minggu. Dapat diduga bahwa genangan dua dan empat minggu secara langsung atau tidak langsung menekan pengaruh negatif salinitas tinggi. Hal ini berbeda dengan temuan West & Taylor (1984) dan Perent *et al.* (2003) yang menyatakan bahwa genangan meningkatkan penyerapan garam pada kondisi salin. Meskipun demikian, Shannon (1997) menyatakan bahwa tanggapan tanaman terhadap kondisi salin dapat berbeda pada rejim air yang berbeda. Saat tanaman terpapar pada lingkungan yang memiliki kandungan air berlebihan maka cekaman yang dialami adalah pengurangan konsentrasi dan laju difusi oksigen pada rizhosfer (Koon & Kun, 2006; Jamil *et al.*, 2012; Rivera-mendes *et al.*, 2016). Salah satu tanggapan pertama tanaman pada kondisi tersebut adalah peningkatan resistensi stomata (Striker, 2012), sehingga pertukaran gas dan penyerapan air menjadi terbatas,

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

menyebabkan terjadinya defisit air internal (Parent *et al.*, 2008).

Pada satu sisi kondisi ini membawa konsekuensi negatif, dimana penyerapan nutrisi (unsur hara) dan air menjadi terbatas, sementara keduanya adalah komponen utama yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Pada sisi yang lain, kondisi ini mampu mengkompensasi kerusakan lebih berat yang disebabkan oleh salinitas tinggi akibat larutan garam berlebih di rizhosfer. Tanaman yang mampu membatasi penyerapan ion toksin dan menjaga konsentrasinya tetap rendah dapat memiliki toleransi yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang menyerap ion lebih banyak.

Kelapa sawit merupakan tanaman mesophyte yang hidup pada kondisi perakaran aerob, kondisi tergenang menginduksi modifikasi sistem perakaran yang lebih sesuai pada kondisi genangan. Pembentukan *pneumatophore* yang memiliki saluran aerenkima (saluran udara di sepanjang akar) merupakan mekanisme adaptasi kelapa sawit yang memungkinkan untuk bertahan selama genangan (Corley & Tinker, 2015).

Genangan lebih dari 10 hari menyebabkan terbentuk *pneumatophore*. Genangan non salin yang hanya menghadapi cekaman tunggal mampu mengembangkan *pneumatophore* lebih dahulu dibandingkan genangan salin, yang

menghadapi cekaman ganda. Kompleksitas cekaman yang dihadapi suatu tanaman mempengaruhi alokasi energi yang digunakannya untuk menghadapi cekaman tersebut (Jenks & Hasegawa, 2007).

Terbentuknya *pneumatophore* pada kondisi genangan memungkinkan kelapa sawit memperoleh pasokan oksigen tidak hanya melalui stomata yang ada pada daun dan pelepah namun juga melalui lentisel (Jackson & Colmer, 2005). Lentisel *pneumatophore* terletak pada ujung akar yang muncul di permukaan air, dimana pada bagian ini dinding sel akar mempunyai lapisan suberin dan terus menyebar ke arah pangkal yang memiliki lebih sedikit lapisan suberin (Rivera-mendes *et al.*, 2016).

Berbeda dengan stomata yang memiliki mekanisme buka-tutup menyesuaikan dengan status air internal tanaman, lentisel bersifat pasif dan selalu dapat dilalui oleh O₂. Masuknya oksigen melalui lentisel dikendalikan oleh gradien konsentrasi O₂ internal dan eksternal tanaman (Kuo-Huang & Hung, 1995). Oksigen yang masuk melalui lentisel diduga dapat mengkompensasi penurunan suplai oksigen melalui stomata. Suplai oksigen melalui *pneumatophore* dapat segera terdistribusi menuju seluruh bagian tanaman terutama akar karena jaraknya yang dekat dengan akar utama sawit

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

mengingat *pneumatophore* tumbuh pada lokasi sebagaimana akar sekunder.

Epidermis yang mengalami penebalan internal oleh adanya lapisan suberin mencegah lepasnya O_2 ke rizosfer dan atmosfer dan masuknya ion toksin ke akar (Enstone *et al.*, 2002). Adanya suberin sebagai penghalang tambahan di permukaan luar korteks itu memiliki peran tambahan antara lain bisa melindungi tanaman dari ion toksin seperti Na^+ dan Cl^- serta fitotoksin yang dihasilkan oleh mikroorganisme di sekitar akar (Voeselek & Bailey-Serres, 2015).

Peningkatan porositas dengan adanya aerenkima pada *pneumatophore* dapat meningkatkan ventilasi pada bagian atas tanaman dan pengudaraan senyawa beracun yang diproduksi di akar (etanol dan metana) dan meningkatkan difusi longitudinal gas pada akar sehingga meningkatkan aerasi (Visser & Pierik, 2007). Jaringan ini memfasilitasi difusi internal O_2 hingga ke ujung akar (Rivera-mendes *et al.*, 2016).

Pembentukan dan perkembangan aerenkima, sebagaimana *pneumatophore* menggunakan energi dari cadangan karbohidrat, pati, dan sukrosa melalui respirasi anaerob (Visser & Pierik, 2007). Etilen berperan dalam pembentukan aerenkima, kemungkinan dengan cara memacu kematian sel yang terprogram di lokasi yang spesifik (korteks) (Voeselek & Bailey-Serres, 2015). Perubahan struktur

korteks akar diduga juga disebabkan oleh meningkatnya aktivitas enzim pelunak dinding sel dan dengan deposit suberin pada epidermis.

KESIMPULAN

Terjadi interaksi nyata antara salinitas tinggi dan genangan terhadap pertumbuhan akar. Salinitas tinggi dan genangan menyebabkan penurunan pertumbuhan akar kelapa sawit. Penurunan yang disebabkan oleh salinitas tinggi lebih besar dibandingkan yang disebabkan oleh genangan. Genangan non salin maupun salin menginduksi adaptasi morfologi berupa terbentuknya *pneumatophore* dan adaptasi anatomi berupa terbentuknya saluran aerenkima. Salinitas tinggi yang diikuti oleh genangan dapat mengkompensasi pengaruh negatif dari ion garam (Na^+ dan Cl^-) melalui adaptasi morfologis, perubahan laju serapan ion, dan impermeabilitas membran akar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kebun Penelitian dan Pendidikan (KP2) Institut Pertanian Stiper Yogyakarta yang telah menyediakan lokasi dan bahan tanam untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, T., X. Cai, X. Wu, I. Karahara,, L. Schreiber & J. Lin. 2011. Casparian strip development and its potential function in salt tolerance. *Plant Signaling and Behavior*, 6(10), 1499–1502. <https://doi.org/10.4161.psb.6.10.17054>
- Corley, R. H. V., & P.B. Tinker. (Philip B. 2015. *The Oil Palm*. (R. H. V. Corley & P. B. Tinker, Ed.) (5 ed.). West Sussex: Blackwell Science.
- Duarte, H. H. F., & E.R. de Souza. 2016. Soil Water Potentials and Capsicum annum L. under Salinity. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, 1–11. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150220>
- Enstone, D. E., C.A. Peterson, & F. Ma. 2002. Root endodermis and exodermis: Structure, function, and responses to the environment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(4), 335–351. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0002-2>
- Fakhrfeshani, M., F. Shahriari-ahmadi, A. Niazi, N. Moshtaghi & M. Zare-Mehrjerdi. 2015. The effect of salinity stress on Na⁺, K⁺ concentration, Na⁺/K⁺ ratio, electrolyte leakage and HKT expression profile in roots of *Aeluropus littoralis*. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 3(2), 1–10.
- Firmansyah, E., B. Kurniasih & D. Indradewa. 2016. Shoot Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* var . Indica) in the Combined Submergence and Salinity Shoot Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* var . Indica) in the Combined Submergence and Salinity. *International Journal of Science and Research*, 5(11), 1880–1884. <https://doi.org/10.21275/ART20163171>
- Foster, K. J., & S.J. Miklavcic. 2017. A Comprehensive Biophysical Model of Ion and Water Transport in Plant Roots. I. Clarifying the Roles of Endodermal Barriers in the Salt Stress Response. *Frontiers in Plant Science*, 8(July), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01326>
- Grattan, S. R., & A. Lauchli. 2007. Plant Growth And Development Under Salinity Stress SALINITY STRESS. In M. A. Jenks (Ed.), *Advances in Molecular Breeding Toward Drought* (hal. 1–32). Davis: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5578-2>
- Gupta, B., & B. Huang. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014(April). <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Henson, I. E., M.H. Harun & K.C. Chang. 2008. Some Observations on the Effects of High Water Tables and Flooding on Oil Palm , and a Preliminary Model of Oil Palm Water Balance and Use in the Presence of a High Water Table. *Oil Palm Bulletin*, 56, 14–22.
- Jackson, M. B., & T.D. Colmer. 2005. Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of Botany*, 96(4), 501–505. <https://doi.org/10.1093/aob/mci205>
- Jamil, M., M. Ashraf, S. Rehman, M. Ahmad & E. Rha. 2012. Salinity induced changes in cell membrane stability, protein and RNA contents. *African Journal of Biotechnology*, 11(24), 6476–6483. <https://doi.org/10.4314/ajb.v11i24>
- Jenks, M. A., & P.M. Hasegawa. 2007.

Erick Firmansyah: Pertumbuhan dan Morfologi Akar Kelapa Sawit.....

- Plant Abiotic Stress Edited by.* (M. A. Jenks & P. M. HASEGAWA, Ed.), *Stress The International Journal on the Biology of Stress* (Vol. 43). Oxford: Blackwell publishing. <https://doi.org/10.1017/S0014479706224906>
- Jouyban, Z. 2012. The Effects of Salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(1), 7–10.
- Kim, H., H. Jeong, J. Jeon & S. Bae. 2016. Effects of Irrigation with Saline Water on Crop Growth and Yield in Greenhouse Cultivation. *water*, 8(127), 1–9. <https://doi.org/10.3390/w8040127>
- Koon, L. W., & O.B. Kun. 2006. The Unseen Flood : Waterlogging in Large Oil Palm Plantations. *Jurutera*, (January), 28–31.
- Kuo-Huang, L.-L., & L.F. Hung. 1995. Ling, The formation of lenticels.pdf. *Taiwania*, 40(2), 139–150.
- Li, H., Yi, J., J. Zhang, Y. Zhao, B. Si, R.L. Hill & X. Liu. 2015. Modeling of Soil Water and Salt Dynamics and Its Effects on Root Water Uptake in Heihe Arid Wetland, Gansu, China. *water*, 7, 2382–2401. <https://doi.org/10.3390/w7052382>
- Machado, R. M. A., & R.P. Serralheiro. 2017. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth . Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. *Horticulturae*, 3(30), 1–13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>
- Morales, S. G., L.I. Trejo-Téllez, F.C. Gómez Merino, C. Caldana. D. , Espinosa-Victoria & B.E. Herrera Cabrera. 2012. Growth, photosynthetic activity, and potassium and sodium concentration in rice plants under salt stress. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34(3), 317–324. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.13687>
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25, 239–250.
- Negrao, S., S.M. Schmockel & M. Tester. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119, 1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>
- Parent, C., N. Capelli, A. Berger, M. Crèvecoeur & J.F. Dat. 2008. An Overview of Plant Responses to Soil Waterlogging. *Plant Stress*, 38(1), 117–120.
- Rivera-mendes, Y. D., J.C. Cuenca & H.M. Romero. 2016. Physiological responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq .) seedlings under different water soil conditions Respuestas fisiológicas de plántulas de palma de aceite (*Elaeis. Agronomía Colombiana*, 34(2), 163–171. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.55568>
- Striker, G. G. 2012. *Flooding Stress on Plants: Anatomical, Morphological and Physiological Responses*. Botany. Buenos Aires. Diambil dari www.intecohen.com
- Visser, E. J. W., & R. Pierik. 2007. Inhibition of root elongation by ethylene in wetland and non-wetland plant species and the impact of longitudinal ventilation. *Plant, Cell and Environment*, 30(1), 31–38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01601.x>
- Voesenek, C. J., & J. Bailey-Serres. 2015. Tansley review Flood adaptive traits and processes: an overview. *New Phytologist*, 206, 57–73.