

BORON – HARA MIKRO ESENSIAL UNTUK TANAMAN KELAPA SAWIT

Eko Noviandi Ginting dan Rizki Desika Putri Pane

Abstrak - Salah satu gejala defisiensi hara mikro yang kerap muncul pada tanaman kelapa sawit adalah gejala defisiensi hara boron. Boron merupakan unsur hara mikro yang memiliki fungsi vital bagi tanaman diantaranya berperan dalam perkembangan sel baru pada jaringan meristematik, translokasi gula, pati, transport air dan hara, serta berperan penting dalam metabolisme asam fenolik yang sangat penting untuk pertumbuhan serbuk sari yang berpengaruh terhadap pembentukan buah. Pada tanaman kelapa sawit, boron sangat berperan penting pada masa pembungaan dan pembentukan buah. Untuk memenuhi kebutuhan hara boron tanaman kelapa sawit aplikasi pupuk boron dilakukan secara rutin setiap tahun terutama untuk tanaman kelapa sawit muda. Jenis pupuk boron yang umum digunakan di perkebunan kelapa sawit adalah pupuk borax yang memiliki kelarutan yang tinggi. Kelemahan dari pupuk ini adalah hara boron lebih mudah dan cepat hilang tercuci (*leaching*) terutama pada jenis tanah berpasir dan daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi. Sementara itu, di pasaran terdapat berbagai sumber pupuk boron yang diklaim memiliki sifat slow-release sehingga dapat menyediakan hara boron untuk jangka waktu yang relatif lebih lama terutama untuk areal-areal marjinal. Artikel ini menyajikan informasi mengenai unsur hara boron secara keseluruhan termasuk dinamikanya di dalam tanah dan tanaman serta ulasan singkat terkait hasil pengujian beberapa jenis pupuk boron yang jarang digunakan khususnya pada perkebunan kelapa sawit.

Kata kunci: boron, kelapa sawit, borax, colemanite.

PENDAHULUAN

Boron merupakan salah satu unsur hara mikro esensial yang dibutuhkan tanaman untuk menjalankan beberapa fungsi di dalam proses metabolismenya, terutama dalam transport ion dan pembentukan generatif tanaman. Pada tanaman kelapa sawit, gejala defisiensi Boron merupakan gejala defisiensi unsur hara mikro yang kerap kali terjadi terutama pada areal sub-optimal seperti pada lahan dengan jenis tanah gambut ataupun jenis tanah dengan kandungan fraksi pasir yang tinggi. Munculnya gejala defisiensi boron pada tanaman merupakan salah satu indikator yang menggambarkan kurangnya hara boron pada tanah tersebut.

Kelapa sawit merupakan tanaman penghasil minyak paling produktif di dunia. Walaupun termasuk tanaman monokotil, kelapa sawit membutuhkan boron dalam jumlah yang relatif tinggi untuk

mempertahankan pertumbuhan dan produksinya (Shorrocks, 1997). Di Indonesia kelapa sawit banyak diusahakan pada jenis tanah yang sudah mengalami pelapukan lanjut seperti Ultisol dan Oxisol. Jenis tanah ini umumnya memiliki kandungan boron yang rendah sehingga tanaman kelapa sawit sering menunjukkan gejala defisiensi hara boron. Gejala defisiensi boron ini utamanya muncul pada masa pertumbuhan yaitu ketika pada fase tanaman belum menghasilkan (TBM) ataupun pada tanaman berusia muda yaitu 4 – 8 tahun setelah tanam. Namun demikian gejala defisiensi boron juga tak jarang muncul pada tanaman remaja (8-13 tahun) bahkan tanaman dewasa dan tanaman tua (> 13 tahun). Gejala yang khas dari defisiensi boron pada tanaman kelapa sawit adalah munculnya daun pancing (*hook/leaf*), daun keriting, hingga memendeknya pelepah jika gejala defisiensi sudah cukup berat. Corley dan Thinker (2016) menyatakan bahwa gejala defisiensi boron pada tanaman kelapa sawit akan muncul apabila kadar boron di dalam tanah di bawah 0,3 – 0,5 ppm.

Untuk memenuhi kebutuhan boron tanaman kelapa sawit biasanya dilakukan aplikasi pupuk boron secara rutin setiap tahunnya, baik berupa pupuk tunggal maupun pupuk majemuk yang mengandung

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Rizki Desika Putri Pane (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: rdputripane@gmail.com

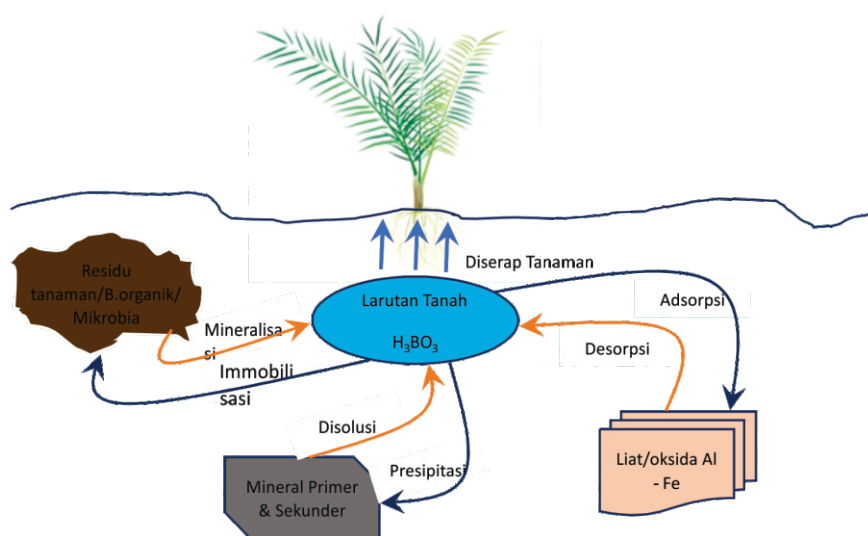
boron. Jenis pupuk boron tunggal yang umum digunakan oleh pekebun kelapa sawit adalah HGF-Borat (*High Grade Fertilizer Borat*) atau dikenal dengan pupuk borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) yang memiliki sifat mudah larut. Walaupun jenis pupuk ini mudah larut namun boron dalam pupuk tersebut juga mudah hilang tercuci terutama pada jenis tanah berpasir dan daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi. Saat ini terdapat beberapa jenis pupuk boron yang diklaim memiliki sifat *slow-release* sehingga berpotensi digunakan terutama untuk jenis tanah berpasir ataupun tanah masam untuk mensuplai boron dalam jangka waktu yang lebih lama. Namun demikian pengujian jenis pupuk boron tersebut belum banyak dilakukan terutama pada tanaman kelapa sawit. Artikel ini berisikan ulasan tentang unsur hara boron termasuk dinamikanya di dalam tanah, tanaman, serta beberapa kajian tentang pemanfaatan beberapa jenis pupuk boron. Ulasan ini diharapkan dapat menjadi salah satu acuan informasi bagi para pekebun kelapa sawit dalam memilih jenis pupuk boron serta mengelola pemupukkan boron di perkebunan kelapa sawit.

BORON DALAM SISTEM TANAH

Di dalam tanah boron eksis dalam empat bentuk yaitu (1) bagian dari struktur batuan dan mineral (mineral primer dan sekunder), (2) terjerap pada permukaan liat dan oksida Al dan Fe, (3) berkombinasi dengan bahan organik dan (4) berada

di dalam larutan tanah sebagai unsur non-ionisasi bebas, asam borat (H_3BO_3), atau membentuk $\text{B}(\text{OH})_4$ pada $\text{pH} > 7$ (Gambar 1). Dari keempat fase tersebut, tanaman menyerap boron pada fase larutan tanah. Jerapan asam borat bebas pada permukaan liat umumnya sangat rendah, mengakibatkan asam borat mudah hilang tercuci pada jenis tanah masam dan tanah berpasir. Pada jenis tanah yang berkembang dari sedimen marin dan tanah yang terletak di wilayah pesisir umumnya kaya akan kandungan boron karena terjadi pengkayaan boron dari air laut.

Boron merupakan satu-satunya hara mikro esensial non-metal yang berada dalam bentuk non-ionik. Keberadaan boron di dalam tanah dapat bersumber dari proses alami maupun sumber antropik. Sumber boron alami di dalam tanah yang paling umum adalah batuan dan mineral borat terutama yang terbentuk dari endapan gas vulkanik. Jenis mineral boron sangat banyak yang terdiri dari berbagai senyawa boron dengan komposisi Na, Ca, dan Mg yang berbeda-beda, seperti Colemanite ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Ulexite ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), dan Kernite ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Sankar et al., 2017). Selain berasal dari mineral, keberadaan boron di dalam tanah juga dapat berasal dari sumber lain seperti hasil pelapukan bahan organik, air irigasi, dan akibat dari aktivitas manusia seperti pupuk, residu bahan bakar fosil, pembangkit listrik dari batu bara, penambangan, dan kegiatan industri lainnya (Das dan Purkait, 2020).



Gambar 1. Siklus sederhana boron di dalam sistem tanah dan tanaman

Total Boron di dalam tanah antara 2 – 300 ppm, umumnya < 80 ppm, namun demikian Boron yang tersedia bagi tanaman di dalam tanah umumnya < 5% (Havlin et al., 2017; Dos Santos et al., 2013; Atique-ur-Rehman et al., 2018). Ketersediaan boron di dalam tanah sangat terkait dengan pH tanah, dan umumnya boron banyak tersedia pada jenis tanah masam (Weill dan Brady 2017). Walaupun ketersediaan boron pada jenis tanah masam cukup tinggi, namun boron juga mudah hilang tercuci pada jenis tanah tersebut. Hal tersebut dikarenakan kekuatan ikatan (retensi) boron pada berbagai komponen tanah secara umum tergolong lemah sehingga mudah lepas dan hilang tercuci. Pada jenis tanah dengan kandungan liat yang tinggi dan memiliki pH yang tinggi ($\text{pH} > 8$) ikatan boron pada berbagai komponen tanah mungkin cukup kuat. Namun jika pH tanah < 7 maka ikatannya menjadi lemah meskipun tanah memiliki kandungan liat yang tinggi (Degryse, 2017).

Oleh karena retensi boron pada berbagai jenis tanah tergolong lemah, penambahan pupuk boron dalam bentuk yang mudah larut (asam borat atau borat) akan mudah hilang tercuci. Hasil investigasi Kubota et al., (1949) terhadap pencucian borax pada 10 lokasi dengan jenis tanah yang memiliki kandungan liat yang berbeda menunjukkan bahwa secara umum boron bergerak sampai kedalaman 60 cm atau lebih, dalam waktu 6 bulan. Winsor (1952) juga melaporkan fenomena yang relatif sama dimana dalam waktu 4 bulan lebih dari 85% borax yang ditambahkan ke tanah tercuci pada kedalaman > 1 meter pada daerah dengan intensitas hujan yang tinggi.

Ketersediaan boron di dalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk pH tanah, kelembaban, kandungan liat, kandungan bahan organik, tekstur tanah, dan keberadaan unsur lain seperti Ca (Dhassi et al., 2019; Havlin et al., 2017). Adsorpsi boron oleh tanah meningkat seiring dengan meningkatnya pH tanah sampai pH 9 dan menurun pada kisaran pH 10 sampai 11.5 (de Sá dan Ernani, 2016). Ketika konsentrasi ion H^+ di dalam tanah menurun akan lebih banyak anion B (H_3BO_3) teradsorpsi ke dalam komponen padat baik organik maupun anorganik yang dibentuk oleh gugus hidroksilasi fungsional (Steiner dan Lana, 2013). Pada jenis tanah dengan tekstur ringan seperti lempung berpasir akan rentan mengalami defisiensi boron karena boron mudah tercuci oleh air (Ahmad et al., 2012). Asam borat $\text{B}(\text{OH})_3$ merupakan bentuk boron yang paling mudah

hilang tercuci oleh air karena tingkat kelarutannya yang tinggi (Wimmer et al., 2020).

Keberadaan boron di dalam tanah juga dipengaruhi oleh keberadaan unsur hara lainnya seperti Ca, N, P, Fe, Al, dan Zn. Pada tanah masam yang kaya akan oksida Al dan Fe, ketersediaan boron mungkin akan terbatas akibat dijerap oleh oksida-oksida tersebut (Barman et al., 2014). Selanjutnya, Irfan et al. (2019) menemukan bahwa ketersediaan fosfor dan kalium berkorelasi positif dengan kandungan B dalam tanah. Di sisi lain Havlin et al. (2017) juga menyatakan bahwa pada tanah alkalin dengan pasokan Ca yang tinggi dapat menghambat ketersediaan boron di dalam tanah. Dengan demikian keberadaan Ca yang tinggi pada larutan tanah dapat mencegah terjadinya keracunan tanaman akan boron. Selanjutnya Arunkumar et al. (2018) menyatakan bahwa keberadaan kalium dapat menghambat serapan boron pada tanaman kelapa sawit.

BORON DALAM SISTEM TANAMAN

Fungsi Boron Bagi Tanaman

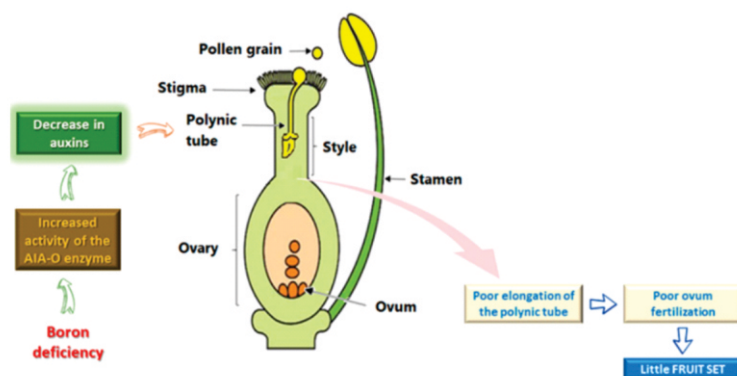
Boron memiliki fungsi penting bagi tanaman, diantaranya berperan penting dalam perkembangan sel baru pada jaringan meristematik (Wimmer et al., 2019), translokasi gula, pati, fosfor, (Atique-ur-Rehman et al., 2018), pengatur keseimbangan nutrisi pada tanaman (Yuming dan Weiqing, 2015), pembentukan dinding sel (Kobayashi et al., 2017), menjaga stabilitas dinding sel (Chormova et al., 2014), dan berperan dalam metabolisme karbon (Mishra & Heckathorn, 2016). Boron memiliki fungsi utama yaitu menjaga integritas struktural dinding sel tanaman. Boron berperan dalam menyediakan ikatan silang (*cross-links*) antara polisakarida dengan dinding sel yang memberikan struktur fleksibel pada dinding sel dimana hal tersebut sangat penting dalam perkembangan sel dan mengontrol produksi lignin setelah perkembangan sel. Selain struktur dinding sel, boron juga berperan penting dalam transport air, hara, dan gula hasil fotosintesis ke jaringan meristematik seperti ujung akar, daun, tunas, dan jaringan penyimpanan (Miwa et al., 2013).

Walaupun boron tidak terlibat langsung dalam proses fotosintesis tanaman, namun pada beberapa penelitian terbukti bahwa boron memiliki efek yang positif terhadap proses fotosintesis yang optimal

(Bariya et al., 2014). Penurunan jumlah unsur hara B dapat mengurangi protein terlarut dan klorofil pada daun, yang merupakan konstituen penting untuk reaksi fotosintesis (Mukhopadhyay et al., 2013). Selain itu, Calderón-Páez et al. (2021) melaporkan bahwa peningkatan pigmen klorofil dan karotenoid dengan penyemprotan B pada daun menyebabkan peningkatan laju fotosintesis.

Menurut Pereira (2021) boron sangat penting untuk pertumbuhan generatif. Boron terlibat dalam metabolisme karbohidrat dan asam fenolik, yang sangat penting untuk pertumbuhan tabung serbuk sari. Penurunan hasil atau kualitas biji/buah dapat disebabkan oleh berkurangnya perkembangan reproduksi pada awal atau akhir siklus

pembungaan/pembuahan akibat rendahnya unsur hara B. Sering terlihat bahwa pertumbuhan reproduktif, terutama pembungaan, pembentukan buah dan biji, sangat sensitif terhadap defisiensi B dibandingkan dengan pertumbuhan aseksual (Bariya et al., 2014). Pada tanaman kelapa sawit, boron sangat berperan penting dalam proses polinasi dan pembentukan buah atau fruitset (Taupik et al., 2021). Kekurangan boron selama masa pembungaan dan pembentukan buah akan meningkatkan aktivitas enzim AIA-Oxidase (AIA-O) yang bertanggungjawab untuk mengurangi kadar asam indolacetic (AIA). Rendahnya kadar hormon ini membuat tabung polinik sulit terbentuk sehingga mengurangi tingkat penggumpalan (Gambar 2)



Gambar 2. Efek defisiensi boron pada saat masa pembungaan dan pembentukan buah yang dapat menyebabkan tidak berkembangnya tabung polik (*polynic tube*) dan berakibat pada terganggunya perkembangan buah. Sumber: <https://www.agrometodos.com>

Defisiensi dan Toksisitas Boron Pada Tanaman

Konsentrasi boron pada tanaman monokotil dan dikotil bervariasi tergantung pada spesies tanaman. Pada tanaman monokotil konsentrasi boron antara 6 dan 18 ppm, sementara pada tanaman dikotil konsentrasi boron antara 20 sampai 60 ppm (Havlin et al., 2017). Namun pada tanaman kelapa sawit, menurut Goh dan Hardter (2003) konsentrasi optimum boron pada pelepah ke-17 adalah 15 – 25 ppm. Sementara itu Kurniawan et al., (2020) menjelaskan bahwa pada kadar boron pada tanaman kelapa sawit dalam kriteria cukup jika mencapai 20 ppm, sementara ketika kadar boron < 16 ppm maka kelapa sawit akan mengalami defisiensi. Kebutuhan boron tanaman kelapa sawit meningkat cepat dari tahun kedua setelah tanam mencapai maksimum pada umur sekitar enam

tahun sebesar 343 boron/ha/tahun. Kebutuhan tahunan boron selanjutnya menurun menjadi sekitar 220 gram/ha/tahun pada usia 8 tahun dan selanjutnya stabil sebesar 198 gram/ha/tahun sejak umur 12 tahun (Goh et al. 2007).

Defisiensi hara boron umumnya lebih sering terjadi dibanding defisiensi hara mikro lainnya (Goli et al., 2019). Kahat B sering terjadi pada kondisi cekaman kekeringan atau pada tanah berpasir (Bellaloui et al., 2015), yang dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan, perkembangan pembuahan, menurunnya kualitas buah serta tanaman gagal menghasilkan malai (Brdar-Jokanović, 2020; Rehman et al., 2014; Souri & Bakhtiarizade, 2019). Wang et al. (2015) menyatakan bahwa defisiensi boron pada tanaman dapat menyebabkan terhambatnya

pertumbuhan daun, merusak bentuk daun dan menurunkan kualitas hasil atau buah. Pertumbuhan akar lebih sensitif terhadap kekurangan boron daripada pertumbuhan tunas. Berhentinya pembelahan sel pada meristem apikal akibat defisiensi boron menghambat pemanjangan akar (Brdar-Jokanović, 2020). Pada defisiensi berat, tudung akar menghilang, pertumbuhan berhenti, dan ujung akar mati. Rasio pucuk/akar meningkat, dan tanaman menjadi lebih rentan terhadap kekeringan dan ketidakseimbangan nutrisi (Brdar-Jokanović, 2020).

Mobilitas boron di dalam organ tanaman sangat terbatas sehingga gejala defisiensi biasanya terjadi pada jaringan meristik yaitu pada kuncup atau daun yang muda (Richard et al., 2017). Gejala defisiensi boron sangat bervariasi antar spesies tanaman namun umumnya berpengaruh terhadap pertumbuhan akar dan pucuk tanaman. Gejala defisiensi boron pada tanaman dapat muncul pada bagian vegetatif dan reproduktif, seperti terhambatnya pertumbuhan akar dan pucuk, penghambatan perkembangan bunga,

malformasi buah dan biji, sterility serbuk sari, dan aborsi (Wang et al., 2015). Havlin et al., (2017) menambahkan bahwa gejala defisiensi boron yang sering muncul pada tanaman berupa daun yang menebal, keriting, layu, perubahan warna daun, retak atau busuk pada buah, umbi, atau akar. Lebih lanjut Pornsuriya et al. (2013) menjelaskan bahwa gejala defisiensi boron pada tanaman kelapa sawit yang umum dijumpai di lapangan yaitu: ujung pelepah tidak membuka, pelepah mengecil, daun pancing, daun kecil, daun mudah patah dan remuk, anak daun berkerut, daun sisip ikan dan ujung pelepah melingkar (Gambar 3).

Defisiensi boron pada kelapa sawit juga menyebabkan daun menjadi rapuh dan berwarna hijau tua. Pada defisiensi yang akut, penurunan produksi dapat terjadi yang disebabkan oleh aborsi bunga karena perkecambahan serbuk sari dan pertumbuhan tabung polen terhambat. Dalam kondisi defisiensi yang parah, dapat menurunkan produksi sekitar 83% (Rajaratnam, 1973).



Gambar 3. Gejala defisiensi boron pada tanaman kelapa sawit

Rentang antara defisiensi B dan toksisitasnya relatif sempit, sehingga peningkatan konsentrasi B di tanah bisa saja menjadi racun bagi tanaman (Sankar et al., 2017). Oleh sebab itu, pengelolaan B dalam sistem tanah-tanaman harus dilakukan dengan bijaksana (Kavitha et al., 2019). Kelebihan B dapat mengganggu proses fisiologis (misalnya asimilasi CO_2 , fotokimia fotosistem II, metabolisme karbohidrat, dan sistem antioksidan) pada tumbuhan dan akibatnya menimbulkan gejala visual seperti klorosis dan nekrosis pucuk (Reid, 2014). Namun demikian, kasus

toksisitas B pada tanaman lebih jarang terjadi daripada defisiensi B, dan sebagian besar hanya terjadi di beberapa wilayah di dunia yang tanahnya berasal dari sedimen laut dengan kandungan B tinggi atau di daerah yang dialiri dengan air kaya boron (Huang et al., 2014).

Penyerapan Boron oleh tanaman

Serapan boron oleh tanaman bergantung pada bentuk dan kandungan B yang tersedia di dalam tanah

(Sun et al., 2019). Namun, secara umum tanaman menyerap boron dari dalam tanah dalam bentuk asam borat tidak terdisosiasi (H_3BO_3). Ketika pH tanah > 7 , di dalam tanah juga akan tersedia boron dalam bentuk anion ($H_2BO_3^-$; HBO_3^{2-} ; BO_3^{3-} ; dan $B_2O_7^{2-}$), namun tanaman menyerap lebih sedikit bentuk boron tersebut dibanding H_3BO_3 (Havlin et al., 2017). Mekanisme penyerapan boron oleh tanaman tingkat tinggi terjadi baik secara pasif maupun secara aktif. Penyerapan secara pasif terjadi melalui proses difusi pasif melalui lapisan ganda lipid (*lipid bilayer*). Sementara pada penyerapan secara aktif (melawan gradien konsentrasi), terjadi melewati membran plasma dengan bantuan *co-transport* ion H^+ . Oleh karena pH sel di dalam tanah lebih tinggi dibanding pH sel di luar maka H^+ mudah bergerak melintasi membran yang terkadang disertai dengan $H_2BO_3^-$. Hal ini menjelaskan mengapa pada tanah alkalin, dimana gradien H^+ lebih kecil, serapan boron oleh tanaman menjadi berkurang.

Secara umum ada tiga mekanisme fisiologis dan molekuler yang berbeda bagaimana tanaman menyerap asam borat dari larutan tanah, tergantung pada ketersediaan boron, yaitu (i) ketika pasokan boron cukup atau relatif tinggi maka tanaman menyerap boron dengan mekanisme difusi pasif, melintasi membran plasma, (ii) ketika boron dalam keadaan terbatas maka penyerapan boron difasilitasi oleh saluran membran non-selektif, dan (iii) ketika pasokan boron rendah, penyerapan dilakukan menggunakan mekanisme transpor berafinitas tinggi melawan gradien konsentrasi yang dimediasi oleh transporter B selektif (Princi et al., 2015).

Unsur hara boron mampu bergerak di dalam tumbuhan melalui rute simplastik dan apoplastik melalui difusi dan aliran massa (García-Sánchez et al., 2020). Di apoplas, aliran air yang digerakkan oleh transpirasi dapat mengangkut zat terlarut apa pun yang terlarut di dalamnya. Dengan demikian, B dapat dengan sangat cepat menempuh jarak yang sangat jauh di dalam xilem. Mobilitas B di floem tampaknya bergantung pada keberadaan molekul yang mampu membentuk kompleks dengan hara ini dan sangat bervariasi di antara spesies, walaupun pada sebagian besar tumbuhan, mobilitas B di floem rendah.

Pada spesies penghasil alkohol gula, seperti apel dan loquat, borat dapat mengikat alkohol gula seperti manitol, sorbitol, dan dulcitol, kompleks yang dihasilkan berperan dalam remobilisasi B yang efisien dari daun tua ke muda melalui floem (Oikonomou et al., 2019). Akan tetapi, pada tanaman kelapa sawit menurut Ng et al. (1968), yang melakukan penelitian dengan bahan tanam Dura, melaporkan bahwa tidak ditemukan kecenderungan konsentrasi B di daun pada umur yang berbeda dan menyimpulkan bahwa B mungkin *mobile* pada kelapa sawit. Namun, Dubos et al. (2022) menyatakan bahwa unsur hara B tidak *mobile* pada tanaman kelapa sawit.

Hasil penelitian Goh et al. (2007) pada tanaman kelapa sawit menunjukkan bahwa kandungan boron pada kanopi dan batang meningkat tajam dari umur 20 sampai 82 bulan setelah tanam (Tabel 1). Pada Tabel 1 terlihat bahwa urutan kebutuhan boron pada tanaman kelapa sawit dari yang terbesar sampai yang terkecil adalah kanopi, batang, TBS, dan akar.

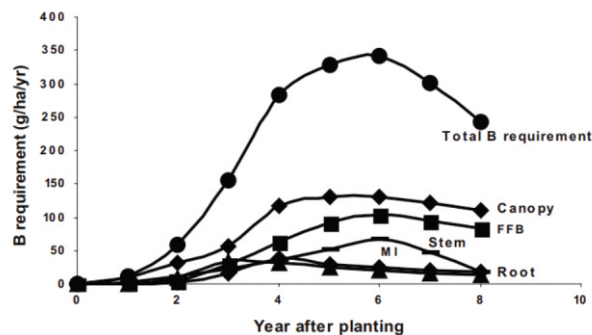
Tabel 1. Kandungan boron (gram/ha) pada bagian vegetatif dan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit pada beberapa umur tanam.

Umur tanaman				
(bulan setelah tanam)	Kanopi (gr/ha)	Batang (gr/ha)	Akar (gr/ha)	TBS (gr/ha)
20	22	10	NA	0
37	62	50	44	28
46	82	52	36	47
57	133	113	27	86
71	178	174	37	95
82	171	261	37	91

Keterangan: NA = not available

Kebutuhan boron tahunan kelapa sawit mengikuti pola kurva sigmoid dimana kebutuhannya meningkat dengan cepat pada tahun kedua setelah tanam dan mencapai maksimum pada umur 6 tahun setelah tanam yaitu sebesar 343 gram/ha/tahun (Gambar 4). Selanjutnya kebutuhan boron tahunan menurun menjadi sekitar 220 gram/ha/tahun pada umur 8 tahun dan stabil pada umur 12 tahun yaitu sekitar 198 gram/ha/tahun. Kebutuhan boron tertinggi adalah untuk perkembangan kanopi yang mencapai puncak pada umur 5 tahun setelah tanam ketika kanopi antar tanaman kelapa sawit sudah saling tumpang tindih, yaitu sekitar 40% dari

total kebutuhan boron total kelapa sawit. Kebutuhan boron tertinggi untuk perkembangan batang juga diperoleh pada umur 6 tahun setelah tanam yaitu sebesar 67 gram/ha/tahun dimana selanjutnya turun tajam seiring dengan melambatnya laju pertumbuhan tanaman. Sebaliknya kebutuhan boron terendah adalah untuk akar tanaman, tidak hanya terendah namun juga mencapai puncak kebutuhan lebih awal yaitu sekitar 3 tahun setelah tanam (Gambar 4). Kebutuhan boron untuk pembentukan tandan buah segar (TBS) juga cukup tinggi yaitu sekitar 33% dari kebutuhan total boron kelapa sawit.



Gambar 4. Kebutuhan boron tahunan pada beberapa organ tanaman kelapa sawit pada jenis tanah Typic Hapludox (Goh et al., 2007).

Tabel 2. Kandungan boron pada organ tanaman kelapa sawit umur 16 tahun pada jenis tanah Typic Hapludox (Goh et al., 2007).

Bagian Tanaman	Kandungan Boron (gram/ha)
Komponen vegetatif	
Daun (leaflets)	5,8
Pangkal Pelepah (petiole)	27,2
Pelepah (rachis)	2,3
cabbage	0,9
Batang (stem)	53,6
Akar (root)	6,3
Komponen tandan	
Tangkai (stalk)	3,91
Spikelet (empty spikelet)	27,18
Serat Mesokarp (mesocarp fibre)	27,46
Cangkang (Shell)	4,16
Kernel	9,83
Buah Partenokarpi (parthenocarpic fruits)	0,15
Total Tandan	71,58

Distribusi boron secara detil juga dikaji oleh Goh et al. (2007) pada organ tanaman kelapa sawit berumur 16 tahun pada jenis tanah Typic Hapludox. Akumulasi boron tertinggi diperoleh pada batang yaitu sebesar 403,5 g/ha diikuti oleh daun (leaflets) sebesar 67,3 gram/ha, dan petiole sebesar 51,6 gram/ha. Selanjutnya pada komponen tandan akumulasi boron tertinggi secara berturut-turut pada *fibre mesocarp*, empty spikelet, sebesar 27,46 gram/ha dan 27,18 gram/ha. Sementara yang terkecil diperoleh pada buah partenokarpi (Parthenocarpic fruit) yaitu sebesar 0,15 gram/ha (Tabel 2).

Interaksi floem dan xilem dalam redistribusi B bisa sangat kompleks, dengan pergerakan B yang dihasilkan melalui setiap jaringan di tumbuhan hanya dengan mekanisme pasif yang sulit dijelaskan. Transporter membran juga dapat terlibat, selain dari kemungkinan adanya jalur pensinyalan efisien yang memungkinkan B untuk memobilisasi (Mosa et al., 2016). Setelah boron (H_2BO_3) berada di dalam sel akar selanjutnya siap ditransportasikan ke daun dimana sebagian besar terjadi di dinding sel. Translokasi boron di floem dari daun ke bagian tanaman lainnya sangat terbatas, sehingga boron terakumulasi terutama di daun yang lebih tua. Menurut Degryse (2017), pada kebanyakan spesies tanaman, pergerakan boron di dalam sel dibatasi, yang berarti boron tidak mudah dipindahkan dari organ tanaman yang lebih tua ke organ tanaman yang lebih muda. Hal ini menjelaskan mengapa gejala keracunan boron pertama kali muncul di ujung daun yang lebih tua. Berlawanan dengan hal tersebut, pada tanaman kelapa sawit, Goh et al. (2007) menyatakan bahwa gejala toksisitas boron dimulai pada daun yang lebih muda, dimana gejala diawali dengan garis-garis khlorosis muncul di ujung daun. Khlorosis dengan cepat diikuti dengan nekrosis yang berkembang dari ujung distal ke ujung proksimal daun.

Oleh karena rentang antara defisiensi dan toksisitas boron sangat sempit, maka aplikasi pupuk boron harus benar-benar tepat baik cara aplikasi maupun dosis pupuk. Penentuan dosis tidak tepat dapat berakibat pada defisiensi atau toksisitas bagi tanaman (Singh dan Goswami, 2013). Metode aplikasi pupuk B yang digunakan sampai saat ini adalah aplikasi benam, *broadcast* atau *foliar spray* (Prasad et al., 2014). Aplikasi *broadcast* dan benam pada tanah direkomendasikan, tergantung pada tanaman dan kondisi tanah. Aplikasi benam dapat

menghasilkan efisiensi yang lebih besar dari aplikasi B dengan metode sebar. Penyerapan B yang lebih besar ketika B diaplikasikan dengan metode benam kemungkinan disebabkan fakta bahwa sejumlah besar nutrisi yang tersedia terkonsentrasi di zona yang dapat langsung diakses oleh akar tanaman (Shahena et al., 2021). Namun, metode benam memiliki risiko lebih tinggi dalam menginduksi toksisitas.

BERBAGAI JENIS PUPUK BORON

Pupuk boron dapat berupa pupuk tunggal misalnya pupuk borax granular, atau dapat juga dicampur bersama pupuk makro. Menurut Mortvedt (1991) ada beberapa kelemahan jika pupuk boron dicampur dengan pupuk makro, diantaranya adalah potensi terjadinya pemisahan boron selama penanganan pupuk atau aplikasi di lapangan akibat adanya perbedaan ukuran, bentuk, atau kepadatan bahan pupuk berakibat pada distribusi pupuk boron di lapangan menjadi tidak merata. Distribusi yang tidak merata tersebut beresiko menyebabkan toksisitas pada tanaman yang berada dekat titik pemupukan dan defisiensi pada tanaman yang berada jauh dari titik aplikasi pupuk. Oleh karenanya, teknologi pupuk yang tepat sangat diperlukan untuk menghomogenkan pencampuran antara unsur boron dengan pupuk makro.

Secara umum ada dua jenis pupuk sebagai sumber boron, pertama adalah bahan yang larut sepenuhnya yang dapat dengan mudah diaplikasikan dalam larutan maupun padatan, dan bijih mineral yang dihaluskan yang memiliki sifat fisik dan kimia yang bervariasi. Pupuk boron yang paling umum digunakan adalah natrium tetraborate (borax) dengan berbagai kondisi hidrasi yang memiliki sifat yang larut (Tabel 3), dimana jenis pupuk ini dibuat dengan cara memurnikan borax alami. Selanjutnya Oktaborat yang terbuat dari borax dan asam borat sehingga memiliki kandungan boron yang tinggi dan sangat mudah larut dan biasanya digunakan untuk aplikasi lewat daun (Degryse, 2017). Asam borat diproduksi dengan mereaksikan borax halus dengan asam sulfat yang memiliki sifat sangat larut (Valdez et al., 2014). Selanjutnya beberapa jenis bijih mineral seperti colemanite, ulexite, kernite, datolit, hydroboracite, dan howlite juga berpotensi sebagai sumber pupuk boron. Lebih lanjut, B Frit

juga telah banyak digunakan sebagai sumber pupuk boron yang diaplikasikan lewat daun. Frit diproduksi dengan mencampur borat bubuk

dengan matriks silikat yang dilebur dalam tungku, didinginkan, dikeringkan dan digiling (Ahmad et al., 2012).

Tabel 3. Beberapa Sumber Pupuk Boron (Degryse, 2017).

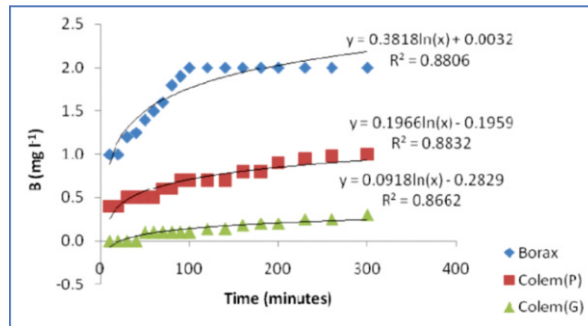
Kandungan	Formula	%B
Borax and Refine borax		
Disodium tetraborate decahydrate (borax penta)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11.3
Disodium tetraborate pentahydrate (borax deca)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	15.2
Disodium octaborate tetrahydrate	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20.9
Anhydrous borax (dehybor)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	21.5
Boric acid	H_3BO_3	17.5
Crushed or refined ores^a		
Kernite	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	14.9
Ulexite	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	13.3
Colemanite	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	15.8
Hydroboracite	$\text{CaMgB}_6\text{O}_8(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	15.7
Datolite	$\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$	6.8
Howlite	$\text{Ca}_2\text{B}_5\text{SiO}_9(\text{OH})_5$	13.8
Other sparingly soluble compounds		
Boron frits	(boric oxide glass)	2-11
Boron phosphate	BPO_4	10.2

^a: Kandungan boron untuk mineral murni. Produk pupuk mungkin mengandung impurities sehingga mungkin memiliki kandungan boron yang berbeda.

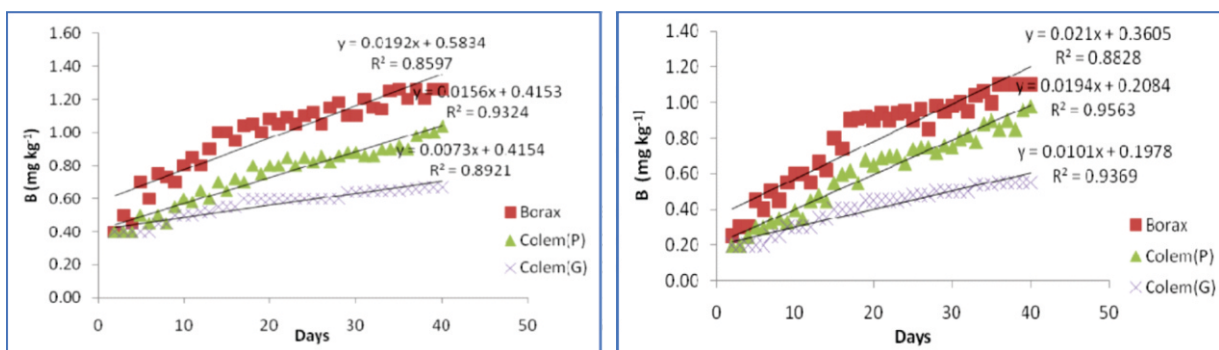
Natrium borat, borax, dan asam borat mudah larut di dalam tanah sehingga cepat tersedia bagi tanaman, namun di saat yang sama boron juga akan mudah hilang tercuci (Saleem et al., 2011). Beberapa sumber boron dalam bentuk bijih yang dihaluskan (*crushed ore*) berpotensi digunakan sebagai pupuk boron yang memiliki sifat *slow-release* yang cocok untuk jenis tanah berpasir (Saleem et al., 2013). Colemanite dan Ulexite merupakan dua jenis bijih mineral yang sering digunakan sebagai sumber pupuk boron.

Penelitian tentang pemanfaatan bijih mineral seperti colemanite dan ulexite terhadap respon tanaman sangat terbatas. Beberapa hasil penelitian mengindikasikan bahwa ulexite dan colemanite dengan ukuran partikel yang sangat halus memiliki efek yang sama dengan boraks (Shorrocks, 1997). Saleem et al. (2011)

melakukan penelitian untuk membandingkan laju kelarutan antara pupuk borax dengan colemanite. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pupuk borax memiliki kelarutan yang lebih cepat dibandingkan colemanite dimana pupuk borax memiliki kelarutan maksimum pada 100 menit dan setelahnya tidak ada lagi kelarutan borax. Sementara itu, kelarutan colemanite sangat lambat dimana sampai dengan menit ke 300 colemanite belum larut sempurna yang diindikasikan dengan masih meningkatnya konsentrasi boron pada larutan (Gambar 5). Hal yang menarik adalah ukuran partikel (tingkat kehalusan partikel) sangat mempengaruhi kelarutan dari colemanite dimana kelarutan colemanite dalam bentuk powder dengan ukuran partikel 75 μm lebih cepat dibandingkan dengan colemanite dalam bentuk granul dengan ukuran partikel 1-3 mm.



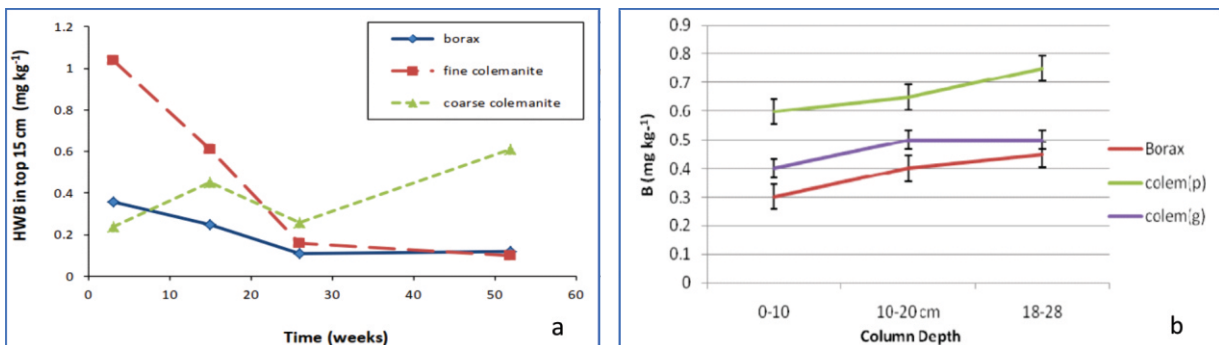
Gambar 5. Perbandingan laju kelarutan pupuk borax dan colemanite (Saleem et al., 2011). Ket: Colem (P): colemanite dalam bentuk powder; Colem (G): Colemanite dalam bentuk granul



Gambar 6. Laju pelepasan boron pada jenis tanah Typic Paleudults (kiri) dan pada tanah Typic Kandiaquults (kanan) pada studi inkubasi tanah. (Saleem et al., 2011).

Sementara itu, dalam penelitian inkubasi tanah, Saleem et al. (2011) juga melaporkan bahwa pelepasan boron dari pupuk borax sangat cepat pada 2 minggu pertama dibanding minggu keempat dan kelima dan setelahnya tidak terjadi lagi pelepasan boron dari pupuk borax.

Sementara boron yang dilepaskan oleh pupuk colemanite konsisten lebih lambat dari awal hingga akhir penelitian dan setelah 6 minggu tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari kandungan boron tanah dari kedua jenis pupuk tersebut (Gambar 6).



Gambar 7. (a) Konsentrasi boron pada profil tanah dengan metode hot-water extractable (HWB) pada top soil (0-15 cm) setelah aplikasi pupuk pada jenis tanah berpasir dengan dosis 6,5 kg boron/ha yang bersumber dari pupuk borax, colemanite halus (< 0,4 mm), dan colemanite kasar (0,8 – 2 mm). Sumber: Degryse F (2017) dengan data bersumber dari Winsor (1950). (b) Konsentrasi boron pada kolom tanah setelah pencucian dengan perlakuan pupuk borax dan colemanite (Saleem et al., 2011).

Pada penelitian lainnya, Winsor (1952) membandingkan retensi dari borax dan colemanite halus, dan colemanite kasar pada jenis tanah berpasir (*sandy soil*). Pada perlakuan pupuk borax dan colemanite halus konsentrasi boron berdasarkan metode *hot-water extractable* (HWB) pada awalnya tinggi, bahkan pada perlakuan colemanite halus menunjukkan konsentrasi boron lebih tinggi dan menyebabkan dampak keracunan yang lebih berat pada tanaman dibanding pada perlakuan pupuk borax. Hal ini dikarenakan boron dari pupuk borax cepat tercuci kelapisan tanah bagian bawah karena terjadinya hujan lebat pada minggu-minggu pertama. Konsentrasi boron menurun dengan cepat pada perlakuan pupuk borax dan colemanite halus menjadi 0,25 mg/kg masing-masing setelah 15 dan 26 minggu setelah aplikasi. Sebaliknya, pada perlakuan colemanite kasar pelepasan boron terjadi secara bertahap dan bertahan pada tanah lapisan atas untuk jangka waktu yang cukup lama yaitu sekitar 52 minggu (Gambar 7a). Selanjutnya Saleem et al. (2011) dalam penelitiannya terhadap pencucian boron pada jenis tanah Typic Kandiaquults mengungkapkan bahwa setelah pencucian kandungan boron pada kolom tanah lebih tinggi pada perlakuan colemanite halus dibanding perlakuan pupuk borax (Gambar 7b). Kondisi ini mengindikasikan bahwa boron yang bersumber dari pupuk borax cepat hilang tercuci dari kolom tanah akibat kelarutannya yang lebih tinggi dibanding colemanite.

Saleem et al., (2011) mengemukakan bahwa borax dan colemanite halus memperlihatkan ketersediaan boron yang relatif sama untuk dua musim tanam padi pada tanah berkapur, dengan hasil colemanite halus sedikit lebih baik dibanding pupuk borax pada musim tanam kedua. Sementara itu colemanite granular (0,33 mm) hasilnya kurang efektif yang mungkin dikarenakan kelarutannya yang lambat pada jenis tanah berkapur. Berdasarkan berbagai literatur ada indikasi bahwa penggunaan colemanite dengan ukuran partikel yang relatif kasar (sekitar 1 mm) dapat menjadi sumber yang baik pada tanah berpasir yang masam, sementara colemanite dengan ukuran yang lebih halus dapat menjadi sumber boron yang baik pada jenis tanah dengan pH yang netral atau alkalin karena kelarutannya yang relatif lambat pada kondisi tanah dengan pH yang relatif basa.

PENUTUP

Boron merupakan unsur hara mikro esensial yang dibutuhkan tanaman untuk dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal. Pada tanaman kelapa sawit, boron memiliki fungsi yang cukup penting selama masa pembungaan dan pembentukan buah. Hal ini diindikasikan bahwa kebutuhan boron tertinggi kedua setelah perkembangan kanopi adalah untuk pembentukan tandan buah segar (TBS). Indikasi selanjutnya adalah pada komponen tandan buah kelapa sawit kandungan boron tertinggi ditemukan pada serat mesokarp dan spikelet. Di dalam tanah, boron umumnya berada dalam bentuk asam borat yang mudah hilang tercuci. Oleh karenanya, pemupukan boron menjadi hal yang wajib dilaksanakan setiap tahunnya di perkebunan kelapa sawit. Umumnya jenis pupuk boron yang digunakan di perkebunan kelapa sawit adalah jenis pupuk borax yang memiliki kelarutan yang tinggi. Namun demikian kelarutan yang tinggi dari jenis pupuk borax juga menyebabkan boron mudah hilang tercuci terutama untuk jenis tanah berpasir. Terdapat beberapa jenis pupuk boron yang diklaim memiliki sifat *slow-release* sehingga berpotensi digunakan terutama untuk jenis tanah berpasir ataupun tanah masam untuk mensuplai boron dalam jangka waktu yang lebih lama. Beberapa hasil kajian memperlihatkan bahwa pupuk boron colemanite dan ulexite memiliki kecepatan pelepasan hara yang lebih lambat dibanding pupuk borax. Selain itu beberapa kajian juga menunjukkan bahwa boron yang bersumber dari colemanite dan ulexite bisa bertahan lebih lama di dalam tanah dibanding boron yang bersumber dari pupuk borax. Hanya saja efektivitasnya pada tanaman kelapa sawit masih perlu diuji lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W., H., M., S., S., Niaz, A., & Saifullah. (2012). Boron Deficiency in Soils and Crops: A Review. *In Crop Plant* (p p . 77 – 114). <https://doi.org/10.5772/36702>
- Atique-ur-Rehman, Farooq, M., Rashid, A., Nadeem, F., Stuerz, S., Asch, F., Bell, R. W., & Siddique, K. H. M. (2018). Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0504-8>

- Arunkumar, B. R., Thippeshappa, G. N., Anjali, M. C., & Prashanth, K. M. (2018). Boron: A critical micronutrient for crop growth and productivity. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 2738-2741.
- Barman, M., Shukla, L. M., Datta, S. P., & Rattan, R. K. (2014). Effect of Applied Lime and Boron on the Availability of Nutrients in an Acid Soil. *Journal of Plant Nutrition*, 37(3), 357-373.
- Bariya, H., Bagtharia, S., & Patel, A. (2014). *Boron: A Promising Nutrient for Increasing Growth and Yield of Plants*. January, 153-170. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10635-9_6
- Bellaloui, N., Turley, R. B., & Stetina, S. R. (2015). Water stress and foliar boron application altered cell wall boron and seed nutrition in near-isogenic cotton lines expressing fuzzy and fuzzless seed phenotypes. *PLoS ONE*, 10(6), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130759>
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4). <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>
- Calderón-Páez, S. E., Cueto-Niño, Y. A., Sánchez-Reinoso, A. D., Garces-Varon, G., Chávez-Arias, C. C., & Restrepo-Díaz, H. (2021). Foliar boron compounds applications mitigate heat stress caused by high daytime temperatures in rice (*Oryza sativa* L.) Boron mitigates heat stress in rice. *Journal of Plant Nutrition*, 44(17), 2514-2527.
- Corley, R.H.V., and Tinker, P.B. (2016). *The Oil Palm* 5th ed. Blackwell Science Ltd.
- Chormova, D., Messenger, D. J., & Fry, S. C. (2014). Boron bridging of rhamnogalacturonan-II, monitored by gel electrophoresis, occurs during polysaccharide synthesis and secretion but not post-secretion. *Plant Journal*, 77(4), 534-546. <https://doi.org/10.1111/tpj.12403>
- Degryse, F. (2017). Boron fertilizers: use, challenges and the benefit of slow-release sources – a review. *Journal of Boron*. 2 (3). 111-122.
- Dubos, B., Bonneau, X., & Flori, A. (2022). *Oil Palm Fertilization Guide*. Versailles. éditions Quæ. 85 p.
- de Sá, A. A., & Ernani, P. R. (2016). Boron leaching decreases with increases on soil pH. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 40, 1-7. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150008>
- Dhassi, K., Drissi, S., Makroum, K., Er-Rezza, H., Amlal, F., & Aït Houssa, A. (2019). Soil Boron Migration as Influenced by Leaching Rate and Soil Characteristics: A Column Study. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(14), 1663-1670.
- Dos Santos, G. C. G., Valladares, G. S., Abreu, C. A., De Camargo, O. A., & Grego, C. R. (2013). Assessment of copper and zinc in soils of a vineyard region in the state of São Paulo, Brazil. *Applied and Environmental Soil Science*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/790795>.
- García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Martínez-Nicolás, J. J., Alfosea-Simón, M., Liu, C., Chatzissavvidis, C., Pérez-Pérez, J. G., & Cámara-Zapata, J. M. (2020). Multiple stresses occurring with boron toxicity and deficiency in plants. *Journal of Hazardous Materials*, 397 (February), 122713. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122713>
- Goh, K.J., H.H.Gan., K.K. Kee., P.S. Chew., K.C. Teoh. (2007). Boron requirement and distribution in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) and some implications on manuring practices. *Advances in plant and animal boron nutrition*. Springer. 189-202.
- Goh, K.J., and Hardter, R. in Fairhurst, T.H., and Hardter, R. 2003. *Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields*. PPI, PPIC, International Potash Institute
- Goli, E., Hiemstra, T., & Rahnemaie, R. (2019). Interaction of boron with humic acid and natural organic matter: Experiments and modeling. *Chemical Geology*, 515(2019), 1-8.
- Huang, J. H., Cai, Z. J., Wen, S. X., Guo, P., Ye, X., Lin, G. Z., & Chen, L. S. (2014). Effects of boron toxicity on root and leaf anatomy in two Citrus species differing in boron tolerance. *Trees - Structure and Function*, 28(6), 1653-1666. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1075-1>

- Irfan, M., Abbas, M., Shah, J. A., Depar, N., Memon, M. Y., & Sial, N. A. (2019). Interactive effect of phosphorus and boron on plant growth, nutrient accumulation and grain yield of wheat grown on calcareous soil. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(1), 17–26.
- Kavitha, C., Sujatha, M. P., & Tata, R. (2019). Spatial variations in soil micronutrients as influenced by agro ecological conditions in a tropical humid region. *Tropical Ecology*, 60(3), 362–378.
- Kobayashi, M., Miyamoto, M., Matoh, T., Kitajima, S., Hanano, S., Sumerta, I. N., Narise, T., Suzuki, H., Sakurai, N., & Shibata, D. (2017). Mechanism underlying rapid responses to boron deprivation in Arabidopsis roots. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(1), 106–115.
- Mishra, S., & Heckathorn, S. (2016). *Boron Stress and Plant Carbon and Nitrogen Relations*. 333–355.
- Kubota, J., Berger, K. C., & Truog, E. (1949). Boron movement in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 13(C), 130–134.
- Kurniawan, E., Nelvia, N., & Wawan, W. (2020). Physic And Chemical Properties And Nutrient Content (N, P, K, Mg, B, Cu And Zn) In Oil Palm Leaf In Various Of Age After Compacting. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA)*, 2(2), 86–100.
- Mortvedt J. J. (1991). Micronutrients in agriculture (2nd Ed), Chap. 14: Micronutrient fertilizer technology, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Mosa, K. A., Kumar, K., Chhikara, S., Musante, C., White, J. C., & Dhankher, O. P. (2016). Enhanced boron tolerance in plants mediated by bidirectional transport through plasma membrane intrinsic proteins. *Scientific reports*, 6(1), 1–14.
- Mukhopadhyay, M., Ghosh, P. D., & Mondal, T. K. (2013). Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of young tea plantlets. *Russian Journal of Plant Physiology*, 60(5), 633–639. <https://doi.org/10.1134/S1021443713030096>
- Ng S.K., Cheah T.E., and Thamboo S., (1968). Nutrient contents of oil palms in Malaya. III. Micronutrient contents in vegetative tissues. *Malaysian Agriculture J.* 46(4), 115–126
- Oikonomou, A., Ladikou, E. V., Chatzipirou, G., Margaritopoulou, T., Landi, M., Sotiropoulos, T., Araniti, F., & Papadakis, I. E. (2019). Boron excess imbalances root/shoot allometry, photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters and sugar metabolism in apple plants. *Agronomy*, 9(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110731>
- Pereira, G. L., Siqueira, J. A., Batista-Silva, W., Cardoso, F. B., Nunes-Nesi, A., & Araújo, W. L. (2021). Boron: more than an essential element for land plants?. *Frontiers in Plant Science*, 11, 610307.
- Pornsuriya, C., Sunpapao, A., Srihanant, N., Worapattam, K., Kittimorak, J., Phithakkit, S., & Petcharat, V. (2013). A Survey of Diseases and Disorders in Oil Palms of Southern Thailand. *Plant Pathology Journal*, 12(4), 169–175. <https://doi.org/10.3923/ppj.2013.169.175>
- Princi, M. P., Lupini, A., Araniti, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F., & Abenavoli, M. R. (2015). Boron Toxicity and Tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives. In *Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques* (Issue December) 115–147.
- Prasad, R., Kumar, D., Shivay, Y.S. and Rana, D.S. (2014). Boron in Indian agriculture-A review. *Indian Journal of Agronomy*, 59 (4): 511–517.
- Rajaratnam J.A., (1973) The effect of boron deficiency on oil palm fruit yield in Malaysia. In Proc. Int. Oil Palm Conference on Advances in Oil Palm Cultivation (R.L. Wastie and D.A. Earp, eds) Inc. Soc. Planters, Kuala Lumpur, pp. 280–288
- Rehman, A., Farooq1, M., Ata Cheema, Z., Nawaz, A., & Wahid, A. (2014). Foliage applied boron improves the panicle fertility, yield and biofortification of fine grain aromatic rice. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(3), 723–733.
- Reid, R. (2014). Understanding the boron transport network in plants. *Plant Soil*. 385 (2014) 1–13.
- Richard, B. E. L. L. (2017). Mobility and distribution of boron in plants and effects on reproductive growth and yield. *Journal of Boron*, 2(3), 175–

- 183.
- Saleem M., Yusop M. K., Ishak F., Samsuri A. W., Hafeez B. (2011). Boron fertilizers borax and colemanite application on rice and their residual effect on the following crop cycle, *Soil Science and Plant Nutrition*, 57 (2011), 403-410.
- Saleem, M., Khanif, Y. M., Fauziah, C. I., Samsuri, A. W., & Hafeez, B. (2013). Efficacy of crushed ore colemanite as boron fertilizer for rice grown under calcareous soil conditions. *Pak J Agric Sci*, 50, 37-42.
- Sankar, K. S., Bhargav, J. S., & Karmakar, S. (2017). Boron Content in Shallow Ground Water of Andhra Pradesh And Telangana States, India. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 11(06), 56–60. <https://doi.org/10.9790/2402-1106025660>
- Shahena, S., Rajan, M., Chandran, V., & Mathew, L. (2021). Conventional methods of fertilizer release. In *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. Elsevier Inc.
- Shorrocks V.M., (1997) The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil* 193(1997), 121–148
- Singh, M.V. and Goswami, V. (2013). Efficiency of boron fortified NPK fertilizer in correcting boron deficiency in some cereal and oilseeds crops in India. 17th International Plant Nutrient Colloquium 17-18 August, Istanbul, Turkey.
- Sun, A., Gou, D., Dong, Y., Xu, Q., & Cao, G. (2019). Extraction and Analysis of Available Boron Isotopes in Soil Using Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry [Research-article]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67 (2019), 7183–7189.
- Souri, M. K., & Bakhtiarizade, M. (2019). Biostimulation effects of rosemary essential oil on growth and nutrient uptake of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 243(2018), 472–476.
- Steiner, F., & Lana, M. do C. (2013). Effect of pH on boron adsorption in some soils of Paraná, Brazil. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(2), 181–186.
- Taupik, N. H. M., Rungmekarat, S., Kongsil, P., Phumichai, C., & Keawsaard, Y. (2021). The Effects of Sulfur, Calcium, Boron and Zinc on Leaf Characteristics and Fresh Fruit Bunch Yield of Oil Palm (Surat Thani 2 Var.) in Acid Sulfate Soil. *Science & Technology Asia*, 196-208.
- Valdez, S., Orce, A., Flores, H., & Mattenella, L. (2014). Sodium sulfate recovery from boric acid liquors. *International Journal of Mineral Processing*, 133, 23–28.
- Wang, N., Yang, C., Pan, Z., Liu, Y., & Peng, S. (2015). Boron deficiency in woody plants: Various responses and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6(OCTOBER), 1–14.
- Weil, R. R., Brady, N.C. (2017). The Nature and Properties of Soils 15th ed. Pearson Education Limited.
- Wimmer, M. A., Abreu, I., Bell, R. W., Bienert, M. D., Brown, P. H., Dell, B., Fujiwara, T., Goldbach, H. E., Lehto, T., Mock, H. P., von Wirén, N., Bassil, E., & Bienert, G. P. (2020). Boron: an essential element for vascular plants: A comment on Lewis (2019) 'Boron: the essential element for vascular plants that never was.' *New Phytologist*, 226(5), 1232–1237.
- Wimmer, M. A., Abreu, I., Bell, R. W., Bienert, M. D., Brown, P. H., Dell, B., Toru, F., Goldbach, H. E., Lehto, T., Mock, H.-P., Wiren, N. von, Bassil, E., & Bienert, G. P. (2019). Boron: an essential element for vascular plants. *New Phytologist*, 2019, 1–6.
- Winsor H. W., (1952). Penetration and loss of heavy applications of borax in Florida mineral soils, *Soil Science*, 74 (1952), 459-466.
- Yuming, L., and J. Weiqing. (2015). A kind of adjust ph borate buffer substrate tablet. Patent no: CN204237803U, Accessed January, 2021. <https://bit.ly/3aSq1um>