

Mekanisme fisiologis toleran terhadap cekaman abiotic

Perubahan iklim global dapat menurunkan produktivitas dan rendemen pada tanaman tebu, sehingga harus diantisipasi dengan mengetahui mekanisme fisiologis toleran terhadap cekaman abiotik (Zhao dan Yang-Rui. 2015). Peningkatan konsentrasi CO₂ sekitar 10% karena penggunaan bahan bakar dari fosil, industri yang semakin meningkat dan deforestasi yang memberikan kontribusi terhadap fenomena perubahan iklim global (Houghton *et al.* 2001). Telah diprediksi konsentrasi CO₂ dapat mencapai sekitar 550 ppm, peningkatan tersebut dapat menyebabkan fenomena El Nino yang kuat (musim kering yang panjang), atau La Nina (curah hujan yang berkepanjangan). Dengan kondisi tersebut di atas dapat menyebabkan peningkatan suhu bumi antara 2–5,4°C.

Tanaman tebu merupakan tanaman yang sangat potensial untuk produksi gula dan bioenergi yang dapat tumbuh pada daerah sub tropis maupun tropis. Dengan adanya perubahan iklim global akan memberikan pengaruh yang negatif terhadap produksi tebu di berbagai negara, antara lain di Zimbabwe (Chandiposha 2013) demikian pula di Australia (Carvalho *et al.* 2015). Untuk itu perlu adanya upaya peningkatan efisiensi fotosintesa dalam mengatasi cekaman abiotik. Berbagai faktor mekanisme fisiologis yang dapat meningkatkan efisiensi fotosintesa antara lain dengan:

1. Mempertahankan luas daun lebih lama sehingga dapat memperpanjang laju fotosintesa untuk menghasilkan produktivitas yang tinggi
2. Meningkatkan intersepsi cahaya matahari. Dengan bentuk kanopi daun yang tegak secara teoritis dapat meningkatkan laju fotosintesa. Selain itu tergantung pula pada luas daun, kandungan pigmen fotosintesa dan umur tanaman yang lebih lama.
3. Efisiensi penggunaan cahaya. Laju fotosintesa yang tinggi pada satuan luas daun sangat penting untuk produktivitas dan rendemen yang tinggi.
4. Keseimbangan antara *source* dengan *sink*. Parenkim sebagai *sink* harus mampu memanfaatkan hasil fotosintesa sebagai *source*. Dengan demikian pada tanaman tebu berbagai aktifitas enzim diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara *source* dan *sink* dan telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Agar laju fotosintesa yang tinggi dapat terus berlangsung maka *sink* harus mampu memanfaatkan asimilat dari *source*.

5. Konduktivitas stomata. Konduktivitas stomata erat hubungannya dengan inhibitor asam absisik (ABA), yang merupakan signal biokimia untuk memacu penutupan stomata pada kondisi cekaman abiotik (lingkungan panas dan kekeringan).

Produktivitas tanaman merupakan hasil fotosintesa yang dikurangi oleh proses respirasi. Dengan demikian laju fotosintesa yang tinggi penting untuk mendapatkan biomasa yang tinggi pula.

Sumber daya lahan untuk tanaman pangan antara lain tanaman tebu dapat memanfaatkan lahan sub optimal, dan yang belum digunakan sekitar 322 juta ha (Adimiharja *et al.* 2004), yang tersebar di Kalimantan, Sumatra dan Papua. Lahan sub optimal antara lain lahan salin, lahan masam dan lahan kering. Beberapa mekanisme fisiologis tanaman terkait toleransi terhadap lahan sub optimal adalah sebagai berikut:

1. Mekanisme toleran terhadap peningkatan suhu bumi. Mekanisme toleran terhadap suhu tinggi umumnya mempunyai hubungan yang erat dengan cekaman kekeringan (Hussain *et al.* 2004). Penurunan produktivitas pada tanaman tebu terjadi antara 21 sampai 29,2% apabila dibandingkan area pertamanan yang diirigasi. (Ramosh dan Maheswari 1999). Tanaman yang toleran akan meningkatkan biosintesa senyawa osmolit kompatibel seperti glisin betain, fruktan, prolin, trikhalse, poliol, poliamin (Mitra 2001). Senyawa osmolit kompatibel tersebut dapat berperan sebagai osmo regulator, pelindung enzim sitoplasma dan membran, bahan simpan setelah tanaman mengalami cekaman abiotik.
2. Mekanisme toleran terhadap kekeringan. Pengaruh kekeringan tergantung pada tahap pertumbuhan, derajat kekeringan, periode/lama kering. Pada umumnya kekeringan pada awal dan tahap pertengahan pertumbuhan dapat menurunkan produktivitas dan rendemen. Kekeringan yang moderat pada tahap akhir pertumbuhan dapat memperbaiki kandungan sukrosa pada batang. Sebaliknya genangan air juga dapat menurunkan pertumbuhan bahkan menurunkan produktivitas antara 18–60% tergantung pada periode perendaman, tahap pertumbuhan dan varietas (Glaz dan Lingle 2012).

Tebu dapat tumbuh normal pada suhu maksimal 45°C dan tumbuh lambat pada suhu 40°C. Tanaman yang toleran mempunyai mekanisme adaptasi seperti perubahan morfologi, fisiologi, dan biokimia.

- Menurunkan luas dan jumlah daun, melakukan penebalan kutikula dan penggulungan daun, pembentukan lapisan lilin pada daun,
- Meningkatkan konduktivitas stomata,

- Meningkatkan rasio akar terhadap daun. Kandungan ABA endogen yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan tajuk tetapi mendorong pertumbuhan akar (Dallaire *et al.* 1994),
 - Menurunkan ukuran sel,
 - Merubah aktifitas enzim,
 - Meningkatkan biosintesa inhibitor ABA, yang mempunyai hubungan erat dengan konduktivitas stomata. Dan berperan sebagai signal biokimia pada tajuk, sehingga terjadi penutupan stomata pada saat mengalami cekaman abiotik,
 - Mempercepat siklus pertumbuhan sebelum cekaman abiotik, memelihara turgor sel, meningkatkan kedalaman akar, meningkatkan laju dan jumlah translokasi air ke tajuk. Pada *Saccharum spontaneum* mempunyai sistem perakaran yang dalam dan karakter tersebut diwariskan karakter pada perakaran merupakan karakter yang penting untuk adaptasi terhadap kekeringan (Peng dan Ismail 2004).
3. Mekanisme toleran terhadap Salinitas. Di Indonesia saat ini salinitas telah menjadi masalah serius terutama yang terletak di pinggir pantai utara Jawa, Sulawesi Selatan dan Sumatra, hampir 50% lahan irigasi mengalami masalah salinitas. Efek osmotik dan cekaman ion mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Yang *et al.* (2008) menyatakan bahwa mekanisme salinitas ada 2 yaitu inklusi dan eksklusi. Mekanisme inklusi merupakan kemampuan tanaman mencegah terjadinya keracunan garam dengan sintesa senyawa osmolit kompatibel, kompartementasi garam dalam vakuola dan sekresi garam, menggugurkan daun tua. Untuk mekanisme eksklusi yaitu mencegah masuknya garam Na ke dalam jaringan tanaman, mengurangi kekurangan air internal dengan sintesis senyawa solut serta meningkatkan sukulensi (Blum 2002). Sama halnya dengan mekanisme toleran terhadap kekeringan, toleransi terhadap salinitas terkait dengan peningkatan kandungan ABA. Secara morfologi menyerupai dengan tanaman yang adaptif terhadap kekeringan. Lahan salin selain mempunyai kandungan NaCl, juga kandungan Na_2SO_4 , CaCl_2 , Mg_2SO_4 dan MgCl yang relatif tinggi (Ghafoor *et al.* 2004). Kandungan NaCl dalam lahan salin 8–15% dan mendapat intrusi laut lebih dari 6 bulan pertahun. Kondisi tersebut dapat memberikan cekaman abiotik yang mempengaruhi produktivitas dan rendemen.

Dengan kandungan garam mineral yang tinggi seperti NaCl, dapat menurunkan potensial osmotik larutan air tanah sehingga mengurangi ketersediaan air bagi tanaman (Ghafoor *et al.* 2004). Tanah yang dianggap lahan salin adalah yang mempunyai daya hantar listrik lebih

dari 4 dsm yang setara dengan 40 mM NaCl dalam larutan air tanah. Tanaman yang tidak dapat tumbuh pada lahan salin umumnya disebut glycophytes dan yang toleran atau memerlukan garam tinggi disebut halophytes. Tanaman yang adaptif pada lahan salin akan berubah secara morfologi, fisiologi, dan anatomi. Pada tahap perkecambahan dan tahap awal pertumbuhan akan menghambat pada tanaman tebu pertumbuhan, selanjutnya dan meningkatkan proses katabolisme. Toleransi terhadap lahan salin merupakan proses yang kompleks dan dikontrol oleh banyak gen (Gracia *et al.* 1995). Gen tersebut hanya akan terekspresi pada saat tanaman mengalami stress. Tebu merupakan tanaman yang moderat sensitif terhadap salinitas. *Cell Wall Invertase* ekspresinya akan meningkat di bawah kondisi yang memerlukan karbohidrat tinggi untuk menyuplai kepada *sink*. Disamping itu terjadi penurunan sukrosa larut pada seluruh batang.

4. Mekanisme toleransi terhadap lahan masam (kandungan Al tinggi). Dari total luas daratan di Indonesia sekitar 47,6 juta hektar merupakan lahan kering yang didominasi oleh tanah masam Podsolik Merah Kuning. Kawasan untuk budi daya tanaman pangan mencapai 18,2 juta ha (Mulyani *et al.* 2003), dengan penyebaran di Kalimantan, Sumatra, dan Papua. Untuk tanaman yang peka menunjukkan akar pendek dan bengkok, sehingga penyerapan air dan hara terganggu. Tudung dan meristem akar merupakan target utama keracunan Al. Menurut Samac dan Tesfaye (2003) asam organik mempunyai peran penting dalam mekanisme toleran terhadap Al. Kendala yang dihadapi adalah keracunan Al dan H⁺ serta kahat hara makro. Menurut Marschner (1995) ada 2 mekanisme toleran terhadap Al yaitu mekanisme eksklusi dan internal. Untuk mekanisme eksklusi terjadi imobilisasi pada dinding sel, permeabilitas selektif plasmalema, meningkatkan pH pada rhizosfer, maupun apoplas, eksklusi ligan pengkelat dan efluks Al. Untuk mekanisme internal antara lain biosintesa asam organik pengkelat (asam oksalat, asam sitrat, asam suksinat, asam humat, asam fulfat, fenolat, dan asam malat), kompartementasi Al dalam vakuola, sintesa protein spesifik pengikat Al (Kochian *et al.* 2004). Tanaman yang toleran cenderung menaikkan pH di daerah perakaran lebih cepat dibanding tanaman peka (Ganesan *et al.* 1993; Galvez dan Clark 1991).