

Peningkatan Konsentrasi CO₂ dan Suhu menyebabkan Penurunan Laju Pembukaan Stomata serta Hasil Berat Kering Tanaman Kedelai

Elevated [CO₂] dan tTemperature will reduce Stomatal Conductance and Dry Matter Production of Soybean

Mochamad Arief Soleh^{1*)} dan Makie Kokubun²⁾

¹⁾Jurusan Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

²⁾Jurusan Ilmu Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Tohoku-Japan.

Jalan raya Bandung-Sumedang KM 21, Jatinangor 45363. Telp/fax (022) 779-6316

*Penulis untuk korespondensi: *m.arief@unpad.ac.id*

Diterima 13 Januari 2018/Disetujui 21 Januari 2018

ABSTRACT

Global warming phenomenon in the last two decade has paid attention of researchers on how plants response to CO₂ elevated and temperature. Increased CO₂ in the atmosphere, which is coincided high temperature, it will affect on plants response leading to reduce in yield. Soybean plants were grown at the gradiotron with 2 °C higher than ambient, and two [CO₂] regime of ambient and elevated of 200 ppm higher. Then, plants were transferred into difference [CO₂] regime (from ambient to elevated (A-E) or from elevated to ambient (E-A)). Stomatal conductance (g_s) at the elevated [CO₂] had decreased significantly from 1400 into 700 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ compared to ambient [CO₂] regime at 4 DAT (day after transfer). Moreover, g_s at the elevated [CO₂] were much lower at 32 DAT or 80 DAS (day after sowing). Dry matter of soybean grown at the elevated [CO₂] was 33% higher than ambient at 48 DAS or before transfer, while after transferred into difference CO₂ regime at 81 DAS, dry matter difference was 7%. At the early growth in the elevated [CO₂] regime, plants could use abundant of CO₂ for photosynthesis so that dry matter increased significantly, however in the later growth stage i.e. 32 DAT, dry matter did not increase significantly or it was occurring downregulation where elevated [CO₂] does not increase photosynthesis even it decreases the photosynthesis. The downregulation was correlated with decreased in g_s and it will be getting worst with present of high temperature.

Keywords: Stomatal conductance, Elevated [CO₂], Soybean, Downregulation.

ABSTRAK

Fenomena global warming sejak dua dekade terakhir telah menyita waktu para peneliti tanaman untuk mengevaluasi berbagai respon tanaman dalam ruang lingkup peningkatan CO₂ dan temperatur. Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer yang diikuti dengan peningkatan suhu akan menyebabkan perubahan respon tanaman kearah penurunan produksi. Tanaman kedelai yang di tanam di ruang terkendali dengan suhu 2 °C dan konsentrasi CO₂ 200 ppm lebih tinggi dari keadaan ambient serta ditanam pada kondisi konsentrasi CO₂ ambient sebesar 380 ppm. Tanaman kemudian dipindahkan bergantian dari CO₂ tinggi ke CO₂ ambient dan sebaliknya (A-E atau E-A). Respon pembukaan stomata (g_s) tanaman kedelai di rejim CO₂ lebih tinggi cenderung menurun signifikan dari sebesar 1400 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ menjadi 700 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ pada umur 4 HSP (hari setelah pindah) dibandingkan dengan rejim CO₂ ambient. Lebih jauh respon stomata makin menurun drastis pada umur 32 HSP atau 80 HST (hari setelah tanam) di rejim CO₂ lebih tinggi. Sebelum dipindahkan yaitu pada umur 48 HST bobot kering tanaman di rejim CO₂ tinggi lebih tinggi 33% dibanding di rejim ambient, sedangkan setelah dipindahkan dari rejim ambient ke rejim CO₂ tinggi pada umur 81 HST perbedaan berat kering hanya sebesar 7%. Pada awal tumbuh di rejim CO₂ tinggi tanaman mampu memanfaatkan kelebihan CO₂ untuk berfotosintesis sehingga bobot kering tanaman meningkat signifikan namun pada tahap lanjutan yaitu pada 32 HSP peningkatan bobot tanaman menjadi tidak signifikan menandakan ada mekanisme downregulation yaitu peningkatan CO₂ tidak lagi mampu lagi meningkatkan laju fotosintesis namun sebaliknya. Downregulation ini ditandai dengan semakin menurunnya aktivitas pembukaan stomata, dan akan semakin buruk bila disertai oleh peningkatan suhu.

Kata kunci: Konduktansi Stomata, Peningkatan CO₂, Kedelai, downregulation.

PENDAHULUAN

Fenomena pemanasan global yang ditandai oleh peningkatan suhu bumi dan CO₂ di atmosfer telah mengancam produksi kedelai di dunia. Lebih jauh

produksi kedelai banyak tersebar di wilayah tropik yang banyak dipengaruhi oleh faktor suhu. Peningkatan suhu ini akan meningkatkan laju evaporasi sehingga menyebabkan kekeringan (Long and Ort, 2010). Perubahan iklim adalah hasil dari peningkatan GRK (gas rumah kaca) di atmosfer terutama gas CO₂. Gas CO₂ ini telah meingkat secara signifikan dari 280 ppm pada era praindustri menjadi 370 ppm pada saat ini (Houghton et al., 2001) bahkan diprediksi akan terus meningkat menjadi 550 ppm pada pertengahan abad sekarang (IPCC, 2001, 2007).

Peningkatan konsentrasi CO₂ dipastikan akan diikuti oleh peningkatan suhu yang dapat menurunkan hasil panen dan pertumbuhan kedelai (Sionit et al., 1987; Allen et al., 2003; Koti et al., 2004) and rice (Ziska et al., 1996). Hasil penelitian terdahulu ini mengindikasikan efek negatif dari peningkatan CO₂ dan suhu pada tanaman kedelai, namun penelitian lainnya menjelaskan efek peningkatan CO₂ ini akan memiliki dampak positif terutama pada tanaman C3 dengan menurunkan aktifitas fotosintesis berbeda dengan tanaman C4 yang kurang terpengaruh oleh kenaikan CO₂ (Leakey et al., 2006).

Respons stomata pada kondisi CO₂ tinggi memiliki peranan penting karena pembukaan stomata erat kaitannya dengan fiksasi CO₂ untuk proses fotosintesis. Pada fase awal tumbuh di rejim CO₂ tinggi pembukaan stomata tanaman biasanya cenderung lebih rendah dari pada di rejim ambient, namun pada fase lanjut perbedaan laju pembukaan tidak berbeda, bahkan pada fase lanjut pembukaan stomata ini disertai dengan penurunan fotosintesis, hal ini merupakan bentuk *downregulation* dimana semakin meningkat CO₂ tidak lagi meningkatkan aktifitas stomata (Sage et al., 1989).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi lebih jauh untuk menjelaskan pengaruh peningkatan CO₂ pada respon fisiologi tanaman kedelai khususnya respon stomata, klorofil dan kaitannya dengan berat kering tanaman.

BAHAN DAN METODE

Bahan tanaman yang dipakai pada penelitian ini adalah tanaman kedelai kultivar Enrei yang merupakan

2009. Setiap pot diberi pupuk dasar N-P₂O₅-K₂O (5-15-20) sebanyak 6 g dan 10 g dolomit. Sebelum ditanam benih kedelai terlebih dahulu diberi inokulan *Bradyrhizobium japonicum* strain. Jenis tanah yang digunakan adalah tanah steril tipe low-humic Andosol. Tanaman di tempatkan di temperature gradient chamber (Gradiotron) di Pusat Penelitian Nasional Pertanian daerah Tohoku-Japan. Terdapat dua gradiotron yang digunakan yaitu untuk level CO₂ ambient 380 ppm dan level CO₂ tinggi 580 ppm.

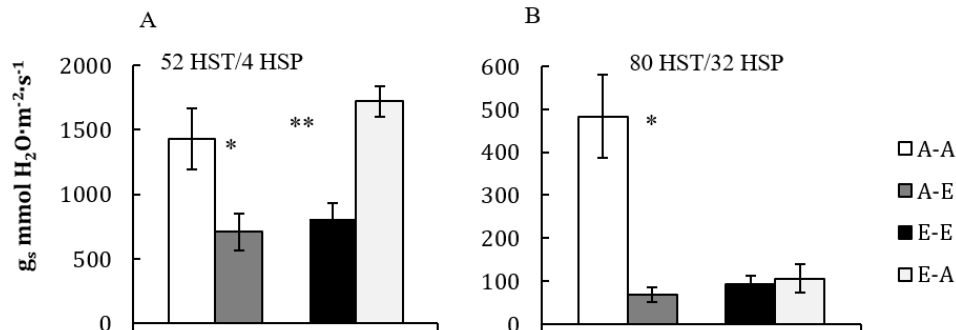
Temperature di dalam gradiotron di set lebih tinggi 2°C dari luar. Pada umur tanaman 52 HST dilakukan pemindahan sample tanaman dari rejim CO₂ ambient ke CO₂ tinggi bergitu pula sebaliknya. Pada 4 dan 32 HSP sample tersebut diukur laju pembukaan stomata (g_s) menggunakan alat porometer (Decagon inc. US).

Pada umur 48 HST beberapa tanaman di sampling untuk mengukur bobot kering di dua rejim CO₂. Analisis tambahan dilakukan untuk mengukur kandungan klorofil pada umur 52 HST/4 HSP dan 81 HST/32 HSP. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dalam lingkungan terkontrol.

Rancangan percobaan adalah Rancangan Acak Lengkap dengan satu faktor yaitu konsentrasi CO₂. Data dianalisis statistik menggunakan software JMP (SAS institute, 2008).

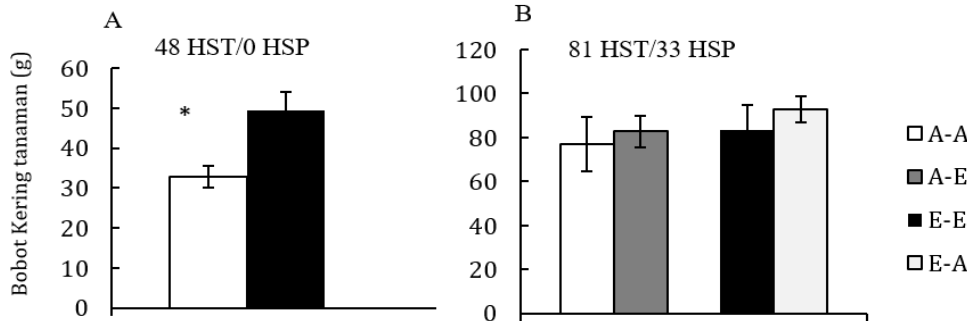
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan nilai g_s setelah tanaman dipindahkan dari rejim CO₂ ambient ke rejim CO₂ tinggi pada umur 52 HST atau 4 HSP nilai g_s mengalami penurunan significant (0.05) dari 1400 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ menjadi 700 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹. Sebaliknya nilai g_s meningkat significant (0.01) pada tanaman yang dipindahkan dari rejim CO₂ tinggi ke rejim ambient (Gambar 1a). Perbedaan nilai g_s di kedua rejim CO₂ tersebut lebih dari 50%. Begitu pula pada umur tanaman 81 HST atau 32 HSP nilai g_s tanaman memiliki kecenderungan yang sama namun perbedaan nilai g_s di kedua rejim semakin menurun susunva di rejim

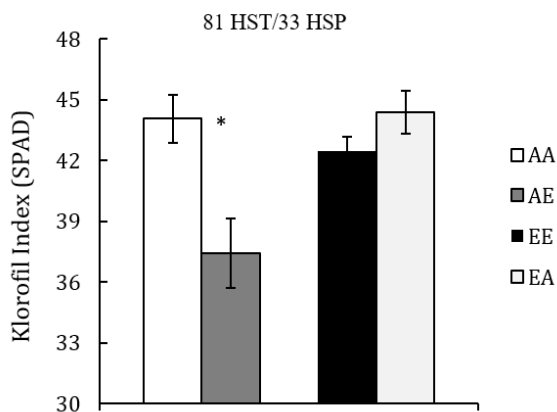


Gambar 1. Nilai pembukaan stomata (g_s) tanaman kedelai kultivar Enrei pada umur 52 HST (A) dan 80 HST (B). simbol A-A dan E-E merupakan perlakuan tanaman hanya di tempatkan di rejim CO₂ ambient dan CO₂ tinggi (Elevated), A-E dan E-A merupakan perlakuan tanaman yang dipindahkan dari rejim Ambient ke rejim CO₂ tinggi dan sebaliknya. Tanda bintang (*) dan (**) menandakan data berbeda signifikan taraf 5% dan 1%.

Hasil pengamatan bobot kering tanaman di



Gambar 2. Nilai bobot kering tanaman kedelai kultivar Enrei pada umur 48 HST (A) dan 81 HST (B). simbol A-A dan E-E merupakan perlakuan tanamannya di tempatkan di rejim CO₂ ambient dan CO₂ tinggi (Elevated), A-E dan E-A merupakan perlakuan tanaman yang dipindahkandarirejim Ambient kerejim CO₂ tinggi dan sebaliknya. Tanda bintang (*) menandakan data berbedasignifikantaraf 5%.



Gambar 3. Nilai klorofil index (SPAD) kedelai kultivar Enrei pada umur 81 HST (A) dan 81 HST (B). simbol A-A dan E-E merupakan perlakuan tanamannya di tempatkan di rejim CO₂ ambient dan CO₂ tinggi (Elevated), A-E dan E-A merupakan perlakuan tanaman yang dipindahkandarirejim Ambient kerejim CO₂ tinggi dan sebaliknya. Tanda bintang (*) menandakan data berbedasignifikantaraf 5%.

Sementara itu rejim

CO₂ tinggi cenderung menurunkan kandungan klorofil tanam kedelai pada umur 81 HST (Gambar 3).

Nilai g_s cenderung menurun pada rejim CO₂ tinggi menandakan tanaman telah memenuhi kebutuhan CO₂ di dalam daun untuk fotosintesis, bahkan nilai fotosintesis pada fase awal tumbuh di rejim CO₂ tinggi lebih tinggi daripada di rejim ambient (data tidak ditampilkan). Hal ini sejalan dengan penelitian lain yang melaporkan bahwa rejim CO₂ cenderung memiliki efek menurunkan nilai g_s (Curtis,

tinggi memiliki nilai bobot kering lebih tinggi yaitu sebesar 49.9 g dibanding bobot kering di rejim ambient yaitu sebesar 32.8 g (Gambar 2a). Nilai bobot kering tanaman terlihat sebaliknya ketika tanaman mulai dipindahkandarirejim berlawanan yaitu bobot tanaman di rejim ambient cenderung lebih tinggi daripada rejim

Namun penurunan nilai g_s ini tidak diikuti oleh penurunan nilai bobot kering pada fase awal tumbuh di rejim CO₂ tinggi menandakan proses fotosintesis berlangsung lebih tinggi di rejim tersebut dengan kebutuhan CO₂ yang telah mencukupi walaupun nilai g_s minimal. Namun pada fase lanjut yaitu ketika tanaman telah beradaptasi sempurna rejim CO₂ tinggi telah membuat nilai g_s tanaman makin menurun bahkan menurunkan nilai bobot kering tanaman, hal ini berlawanan dengan penelitian sebelumnya bahwa rejim CO₂ tinggi cenderung akan meningkatkan bobot kering tanaman (Morgan et al., 2005; Tobert et al., 2004; Pritchard and Amthor, 2005; Alagaraswamy et al., 2006; Rogers et al, 2006). Namun tidak pada tanaman padi (Horie et al, 2005). Adanya suhu tinggi yaitu 2°C lebih tinggi dari luar gradiotron tampaknya membuat efek negative pada tanaman meskipun secara umum rejim CO₂ akan berdampak positif pada tanaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa peningkatan CO₂ di atmosfer akan memiliki efek positif bila tidak disertai oleh peningkatan suhu.

Saran

Penelitian lanjutan perlu untuk dilakukan untuk lebih menjelaskan factor fisiologi apa yang terlibat pada

penurunan nilai g_s dan fotosintesis pada fase lanjut pertumbuhan tanaman kedelai.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainsworth EA, Davey PA, Bernacchi CJ, Dermody OC, Heaton EA, Moore DJ, Morgan PB, Naidu SL, Ra HSY, Zhu XG, et al (2002). A meta analysis of elevated $[CO_2]$ effects on soybean (*Glycine max*) physiology, growth and yield. *Global Change Biology* 8: 695–709
- Ainsworth EA, Long SP (2005). What have we learned from 15 years of free air CO_2 (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO_2 . *New Phytologist* 165: 351–371
- Alagaraswamy G, Boote KJ, Allen LH, Jr, Jones JW (2006). Evaluating the CROPGRO–soybean model ability to simulate photosynthesis response to carbon dioxide levels. *Agronomy Journal* 98: 34–42.
- Allen LH, Jr, Pan D, Boote KJ, Pickering NB, Jones JW (2003). Carbon dioxide and temperature effects on evapotranspiration and water use efficiency of soybean. *Agronomy Journal* 95: 1071-1081
- Bernacchi CJ, Kimball BA, Quarles DR, Long SP, Ort DR (2007). Decreases in conductance of soybean under open-air elevation of $[CO_2]$ are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. *Plant Physiology* 143: 134–144
- Curtis PS (1996). A meta-analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees grown under elevated carbon dioxide. *Plant, Cell and Environment* 19: 127–137
- Horie T, Yoshida H, Kawatsu S, Katsura K, Homma K, and Shiraiwa T (2004). Effects of elevated atmospheric CO_2 concentration and increased temperature on rice: implications for Asian rice production. *Proceedings of the World Rice Research Conference*. pp: 536-539
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, Linden PJV, Dai X, Maskell K, Johnson CA (ed.) (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2001). *Climate change 2001: Synthesis report. Summary for policy makers*. Website: <http://www.ipcc.ch>
- IPCC (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policy makers*. Website: <http://www.ipcc.ch>
- Koti S, Reddy KR, Reddy VR, Kakani VG, Zhao D (2004). Interactive effects of carbon dioxide, temperature, and ultraviolet-B radiation on soybean (*Glycine max* L.) flower and pollen morphology, pollen production, germination, and tube lengths. *Journal of Experimental Botany* 56: 725-736
- Leakey ADB, Bernacchi CJ, Ort DR, Long SP (2006). Long-term growth of soybean at elevated $[CO_2]$ does not cause acclimation of stomatal conductance under fully open-air conditions. *Plant, Cell and Environment* 29: 1794-1800
- Lee TD, Tjoelker MG, Ellsworth DS, Reich PB (2001). Leaf gas exchange responses of 13 prairie grassland species to elevated CO_2 and increased nitrogen supply. *New Phytologist* 150: 405-418
- Long SP, Ort DR (2010). More than taking the heat: crops and global change. *Current Opinion in Plant Biology* 13: 241-248
- Medlyn BE, Barton CVM, Broadmeadow MSJ, Ceulemans R, Angelis PD, Forstreuter M, Freeman M, Jackson SB, Kellomaki S, Laitat E (2001). Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to CO_2 concentration: a synthesis. *New Phytologist* 149: 247–264
- Morgan PB, Bollero GA, Nelson RL, Dohleman F, Long SP (2005). Smaller than predicted increase in aboveground net primary production and yield of field-grown soybean under fully open-air $[CO_2]$ elevation. *Global Change Biology* 11: 1856-1865
- Pritchard SG, Amthor JS (2005). *Crops and environmental change*. Food Products Press, New York. pp. 1-421
- Rogers A, Gibon Y, Stitt M, Morgan PB, Bernacchi CJ, Ort DR, Long SP (2006). Increased C availability at elevated carbon dioxide concentration improves N assimilation in a legume. *Plant, Cell and Environment* 29: 1651–1658
- Sage RF, Sharkey TD, Seemann JR (1989). Acclimation of photosynthesis to elevated CO_2 in five C_3 species. *Plant Physiology* 89: 590-596
- Sionit N, Strain BR, Flint EP (1987). Interaction of temperature and CO_2 enrichment on soybean: photosynthesis and seed yield. *Canadian Journal of Plant Science* 67: 629-636

- Torbert HA, Prior SA, Rogers HH, Runion GB (2004). Elevated atmospheric CO₂ effects on N fertilization in grain sorghum and soybean. *Field Crops Research* 88: 57–67
- Zheng FY, Peng SL (2001). Meta-analysis of the response of plant ecophysiological variables to doubled atmospheric CO₂ concentrations. *Acta Botanica Sinica* 43: 1101–1109
- Ziska LH, Manalo PA (1996). Increasing night temperature can reduce seed set and potential yield of tropical rice. *Functional Plant Biology* 23: 791-794