

TANTANGAN BUDIDAYA KARET DALAM KONDISI PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

Hevea Rubber Cultivation Challenges under Global Climate Change

Junaidi

Balai Penelitian Sungei Putih, Pusat Penelitian Karet
Galang, Deli Serdang, Po. Box 1415 Medan 20001
Email: junaidi.sp5@gmail.com

Diterima 2 Desember 2019 / Direvisi 12 Desember 2019 / Disetujui 31 Desember 2019

Abstrak

Kesadaran terhadap dampak pemanasan global dan perubahan iklim perlu terus ditingkatkan. Artikel ini menyampaikan perubahan kondisi iklim saat ini dan dampaknya terhadap kultur teknis tanaman karet. Dampak pemanasan global dan perubahan iklim meliputi peningkatan suhu dan kekeringan yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman, memperpanjang periode tanaman belum menghasilkan (TBM), menurunkan hasil, dan meningkatkan potensi kejadian kering alur sadap (KAS). Anomali cuaca juga dapat menyebabkan curah hujan berlebihan yang dapat mengganggu kegiatan panen, menyebabkan kehilangan hasil dan meningkatkan serangan penyakit daun dan akar. Ancaman lain adalah evolusi gulma menjadi lebih agresif dan sulit dikendalikan. Artikel ini menggarisbawahi pentingnya perakitan klon yang adaptif terhadap perubahan iklim global. Pada bagian akhir disampaikan upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir dampak perubahan iklim pada tanaman karet antara lain penanaman tanaman penutup tanah, pembuatan rorak dan konservasi air untuk mengurangi dampak kekeringan; penerapan sistem penyadapan tipologi klon, diagnosis lateks dan manajemen panel sadap untuk pencegahan KAS; pengolahan lahan, penggunaan bahan kimia dan agensia hayati untuk pengendalian penyakit jamur akar putih (JAP); modifikasi jarak tanam dan penggunaan tanaman pemecah angin untukantisipasi serangan angin; penggunaan

pelindung hujan mengurangi kehilangan hasil; serta pengendalian gulma terpadu dan tumpang sari untuk menekan pertumbuhan gulma di areal tanaman karet.

Kata kunci: *Hevea brasiliensis*; pemanasan global; cekaman lingkungan; patogen; manajemen budidaya

Abstract

This article presents data on current climate status and their impact on the agronomical practices of Hevea rubber plants. The effects of global warming and climate change include the elevated temperatures and drought that can inhibit plant growth, extend the immature period, reduce yields, and increase tapping panel dryness (TPD) occurrence. Weather anomalies can also cause excessive rainfall which interfere harvesting activities, generate yield loss and aggravate the leaf and root diseases. Other threat is the evolution of weeds becoming more aggressive and difficult to control. This article underlines the importance of breeding adaptive clones to climate change. At the end of this article, mitigation efforts are discussed including cover crops planting, silt pit establishment, and water conservation to minimize drought effect; the implication of clonal typology tapping system, latex diagnosis and tapping panel management for TPD prevention; soil tillage, chemicals and biological control of white root disease; planting space modification and windbreaker planting to anticipate wind attacks; the use of rain guard to reduce yield loss; and integrated weed control and intercropping to control weeds in rubber plantation.

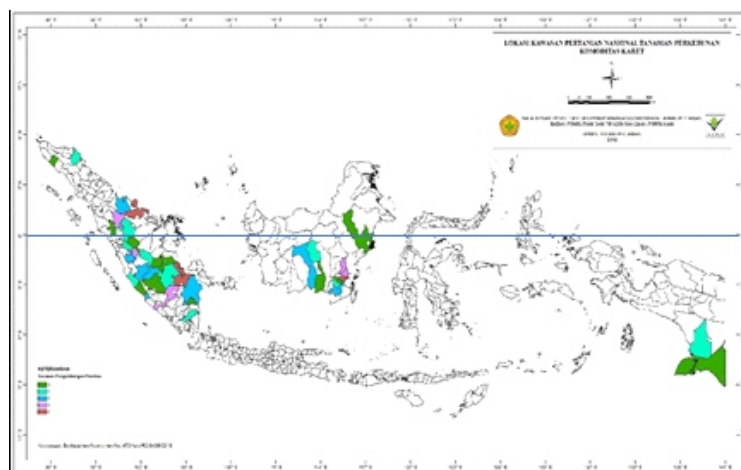
Keywords: Hevea brasiliensis; global warming; environmental stress; pathogen; cultivation management

Pendahuluan

Karet (*Hevea brasiliensis*) adalah tanaman perkebunan terbesar kedua yang dibudidayakan di Indonesia setelah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Budidaya tanaman karet telah menjadi sumber pendapatan bagi jutaan orang. Direktorat Jendral Perkebunan (2016) memperkirakan bahwa pada tahun 2017 Indonesia memiliki lebih dari 3,6 juta hektar perkebunan karet, menghasilkan tidak kurang dari 3,2 juta ton karet kering. Bersama Thailand, Malaysia, Vietnam, Cina, dan India, Indonesia adalah negara penghasil karet alam utama dunia (Pinizzotto, 2019). Berada di khatulistiwa, Indonesia memiliki karakteristik unik karena sebagian sentra produksi berada di belahan bumi utara seperti Aceh, Sumatera Utara, Riau, dan Kalimantan Barat, sementara sebagian lainnya di belahan bumi selatan termasuk Sumatera Selatan, Jambi, Lampung, Kalimantan Selatan dan semua provinsi di pulau Jawa. Di samping sentra-sentra perkebunan karet yang sudah ada, pemerintah menetapkan wilayah pengembangan tanaman karet melalui Keputusan Menteri Pertanian No. 472/Kpts/Rc.040/6/2018 meliputi

Sumatera, Kalimantan hingga Papua (Gambar 1) (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2018). Letak geografis Indonesia menyebabkan pola produksi tahunan yang spesifik. Umumnya, daerah di utara khatulistiwa mengalami produksi rendah pada bulan Februari – April dan produksi tinggi pada bulan Oktober – Desember, sedangkan daerah selatan khatulistiwa memiliki pola produksi rendah pada bulan Agustus – Januari dan produksi tinggi pada bulan Februari – Juli (Junaidi *et al.*, 2015^a). Indonesia memiliki wilayah karet dominan di Selatan khatulistiwa, ekspor Indonesia mengalami peningkatan pada bulan Mei – Juli dimana negara eksportir lainnya seperti Thailand, Vietnam, dan Malaysia cenderung mengalami periode ekspor rendah (Junaidi *et al.*, 2015^b).

Perubahan iklim menjadi isu penting dalam beberapa dekade terakhir dan diprediksi berdampak luas bagi seluruh spesies di muka bumi. Peningkatan emisi gas rumah kaca yang sebagian besar dihasilkan secara antropogenik merupakan penyebab utama pemanasan global dan perubahan iklim (Mann, 2019). United States Environmental Protection Agency (2019) melaporkan bahwa komposisi gas rumah kaca di atmosfer didominasi oleh karbon dioksida (CO₂) (76%), gas lainnya adalah metana (CH₄) (16%), nitro oksida (N₂O) (6%), dan gas berfluorinasi (2%).



Sumber : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2018

Gambar 1. Daerah pengembangan tanaman karet

Terletak di antara dua samudera (Pasifik dan India) dan dua benua (Asia dan Australia), iklim Indonesia sangat dipengaruhi oleh situasi iklim global. Oliver & Peters (2018) melaporkan bahwa peningkatan emisi gas rumah kaca global sejak tahun 1970 sampai 2017 mencapai rata-rata 1,3% per tahun. Sejalan dengan hal tersebut, Berkeley Earth (2019) melaporkan bahwa suhu daratan pada tahun 2017 meningkat 1,24 °C dibanding rata-rata tahun 1951 – 1980 dan diprediksi terus meningkat.

Analisis yang dilakukan Mendelsohn (2009) menyimpulkan bahwa sektor pertanian di negara-negara berkembang, terutama di wilayah tropis lebih rentan mengalami dampak negatif perubahan iklim dibanding wilayah temperate. Praktek budidaya karet tradisional mengalami perubahan signifikan setelah revolusi hijau yang diikuti oleh kemajuan bidang bioteknologi dan genetika. Namun saat ini, praktik budidaya yang telah berjalan selama beberapa dekade mendapat tantangan akibat perubahan iklim global (Yang *et al.*, 2019). Seperti tanaman pada umumnya, suhu tanah dan atmosfer, curah hujan, durasi sinar matahari, dan kelembaban relatif menentukan produktivitas tanaman karet (Zhang *et al.*, 2014). Perubahan distribusi curah hujan dan cuaca ekstrim mempengaruhi pertumbuhan dan hasil karet (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2011). Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kemarau panjang menghambat pertumbuhan karet (Saputra *et al.*, 2016) dan memicu peningkatan kering alur sadap (KAS) (Okoma *et al.*, 2011). Sebaliknya, curah hujan tinggi mengganggu kegiatan panen dan meningkatkan serangan patogen (Pautasso *et al.*, 2012; Santini & Ghelardini, 2015). Ancaman lain adalah evolusi gulma menjadi lebih agresif dan sulit dikendalikan akibat peningkatan laju akumulasi biomassa, perluasan dan perubahan pola penyebaran, serta penurunan sensitifitas terhadap herbisida (Invasive Species Council, 2009; Waryszak *et al.*, 2018).

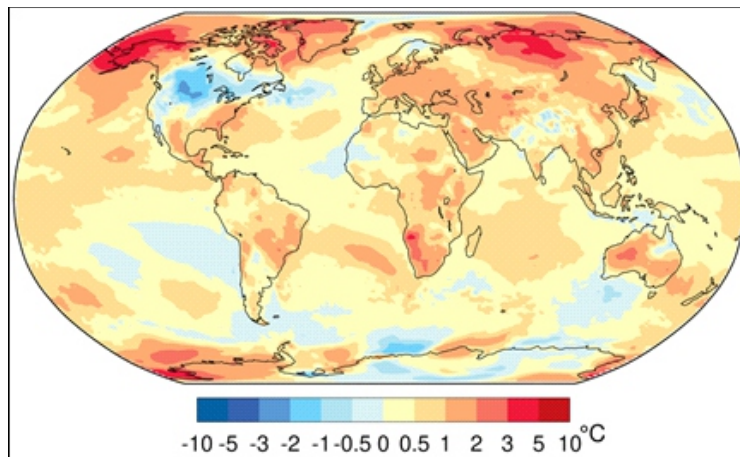
Dalam kondisi lingkungan yang terus berubah, perakitan klon baru yang adaptif (Daslin & Pasaribu, 2015) merupakan strategi

utama di samping modifikasi lingkungan seperti pembuatan rorak dan konservasi air serta praktik budidaya seperti pengendalian gulma terpadu (Chikowo *et al.*, 2009) dan pemupukan berimbang (Tesfai *et al.*, 2016). Artikel ini menyajikan hasil-hasil penelitian terkait dampak perubahan iklim terhadap pertanian khususnya tanaman karet. Efek peningkatan kadar CO₂, kekeringan, serangan penyakit, hujan, dan evolusi gulma disampaikan dalam artikel ini untuk meningkatkan kesadaran petani, perusahaan perkebunan, peneliti, akademisi serta pelaku agribisnis karet lainnya terhadap dampak perubahan iklim global. Upaya mitigasi melalui perakitan klon adaptif dan manajemen budidaya diuraikan dalam upaya mempertahankan pertumbuhan dan produktivitas tanaman karet.

Dampak Pemanasan Global dan Perubahan Iklim

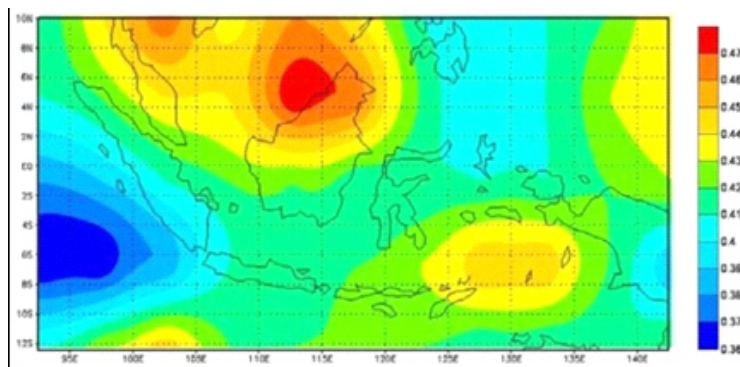
Akumulasi gas rumah kaca merupakan penyebab utama terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim. National Oceanic and Atmospheric Administration (2019) melaporkan bahwa kadar CO₂ pada bulan Mei 2019 mencapai 414,7 ppm, tertinggi dalam 61 tahun pengamatan di NOAA's Mauna Loa Atmospheric Baseline Observatory, Hawaii. Efek dari akumulasi gas rumah kaca di atmosfer adalah peningkatan suhu global. Berdasarkan data yang dirilis World Meteorological Organization (2019), rata-rata peningkatan suhu global pada periode Januari – October 2019 adalah $1,1 \pm 0,1$ °C dibanding rata-rata tahun 1850 – 1900. Tahun 2019 adalah tahun paling panas kedua setelah tahun 2016 dimana terjadi *El Niño* yang sangat kuat. Peningkatan suhu terbesar terjadi di wilayah kutub Utara dan Selatan (Gambar 2). Namun demikian, peningkatan cukup besar terjadi di Eropa, Amerika Utara dan Selatan, Afrika Tengah dan Selatan, Timur Tengah, serta Asia Tenggara termasuk Indonesia.

Untuk wilayah Indonesia, Measey (2010) memprediksi peningkatan suhu 0,36 °C – 0,47 °C pada tahun 2020 dibanding suhu tahun 1990 (Gambar 3). Wilayah sentra perkebunan



Sumber: World Meteorological Organization (2019)

Gambar 2. Perubahan suhu global tahun 2019 dibanding rata-rata periode tahun 1850 – 1900



Sumber : Measey (2010)

Gambar 3. Proyeksi peningkatan suhu atmosfer wilayah Indonesia pada tahun 2020 dibanding tahun 1990

karet seperti Sumatera bagian utara, sebagian besar Jawa, dan bagian selatan Kalimantan diperkirakan mengalami peningkatan suhu 0,41 – 0,42 °C, sedangkan Sumatera bagian selatan dan sebagian kecil Jawa bagian barat diprediksi meningkat 0,40 – 0,41 °C. Bagi tanaman, peningkatan suhu dapat mempengaruhi metabolisme tanaman. Dampak lain dari peningkatan suhu adalah peningkatan permukaan air laut akibat es di kutub mencair. National Aeronautics and Space Administration (2019) melaporkan bahwa peningkatan permukaan air laut mencapai $\pm 4,00$ mm dibanding tahun 1993 atau $\pm 170,00$ mm dibanding tahun 1880.

Peningkatan permukaan air laut selain mengurangi luas areal pertanian juga dapat meningkatkan potensi cekaman salinitas. Tanaman karet yang ditanam di daerah pasang surut berpotensi terpengaruh oleh peningkatan permukaan air laut.

Pemanasan global meningkatkan laju penguapan air tanah dan menyebabkan penurunan kelembaban tanah. Selain itu, perubahan pola pembentukan awan dan distribusi curah hujan dapat memicu banjir dan kekeringan (Aldrian *et al.*, 2011). Dalam hal kekeringan, Wihardjaka (2016) menyatakan bahwa salah satu dampak perubahan iklim adalah peningkatan

frekuensi dan durasi musim kemarau yang dapat menimbulkan bencana kekeringan. Pulau Jawa, Lampung, Aceh dan Sumatera Utara termasuk wilayah yang memiliki resiko kekeringan tinggi (Gambar 4) (Measey, 2010). Hal ini sangat mengkhawatirkan karena wilayah-wilayah tersebut merupakan sentra perkebunan karet Indonesia.

Efek Peningkatan Kadar Karbon Dioksida dan Temperatur Udara terhadap Pertumbuhan Tanaman dan Hasil Lateks

Kadar CO₂ erat kaitannya dengan proses fotosintesis tanaman. Kositsup *et al.* (2010) melaporkan bahwa laju fotosintesis bervariasi antara daun muda dan dewasa. Penelitian sebelumnya oleh Nataraja & Jacob (1999) menunjukkan bahwa dalam lingkungan CO₂ jenuh, laju fotosintesis bersih berbeda antar klon karet (Tabel 1). Devakumar *et al.* (1998) melaporkan bahwa konsentrasi CO₂ tinggi (700 ± 25 ppm) dalam 60 hari meningkatkan pertumbuhan, biomassa dan luas daun *seedling* karet. Meskipun demikian, efek CO₂ *fertilization* masih diperdebatkan karena berlangsung ketika faktor lingkungan lainnya mendukung yaitu sinar matahari dan kadar air tanah, ketiga faktor tersebut terlibat langsung dalam mekanisme fotosintesis, sementara di alam faktor-faktor tersebut saling berinteraksi.

McGrath & Lobell (2013) menyatakan bahwa efek CO₂ *fertilization* bervariasi antara satu daerah dengan daerah lain karena interaksi kadar CO₂ dengan spesies tanaman, ketersediaan air dan nitrogen. Sebagian ilmuwan bahkan berpendapat bahwa peningkatan konsentrasi CO₂ global justru berimplikasi negatif karena meningkatkan cekaman biotik seperti penyakit daun dan akar (Zhou *et al.*, 2019) dan cekaman abiotik seperti kekeringan, suhu tinggi, dan salinitas (Onyekachi *et al.*, 2019).

Penelitian Skinner *et al.* (2018) menunjukkan respons tanaman terhadap peningkatan CO₂ selama ≥ 20 hari lebih tinggi 30-50% dibandingkan dengan respons terhadap radiasi. Peningkatan respons disebabkan oleh “pemaksaan fisiologis” CO₂ yang mengurangi transpirasi dan efek pendinginan, serta mengurangi pembentukan awan dan curah hujan. Choudhury *et al.* (2013) menjelaskan bahwa penutupan stomata untuk menghindari *over-transpirasi* menyebabkan kekurangan CO₂ di tingkat sel, penurunan sintesis ribulosa 1,5-bisfosfat (RuBP) dan adenosin trifosfat (ATP) sehingga menekan laju fotosintesis dan menginduksi akumulasi *reactive oxygen species (ROS)*. Cekaman suhu tinggi, yang disebabkan oleh *global warming*, mempengaruhi status fisiologis tanaman. Nguyen & Dang (2016) melaporkan bahwa



Sumber : Measey (2010)

Gambar 4. Perkiraan resiko kekeringan di wilayah Indonesia pada tahun 2025 – 2030

Tabel 1. Karakteristik fotosintesis klon karet dalam kondisi CO₂ jenuh

| Klon | P_{sat} | F_c | P_{max} | P_n/g_s |
|----------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| RRII 51 | 10,80 ± 1,21 | 0,419 ± 0,041 | 19,50 ± 1,85 | 9,80 ± 0,06 |
| RRII 105 | 12,20 ± 0,62 | 0,587 ± 0,039 | 25,90 ± 0,53 | 8,00 ± 0,03 |
| RRIC 100 | 12,10 ± 0,73 | 0,590 ± 0,023 | 24,90 ± 0,53 | 12,10 ± 0,03 |
| RRIM 600 | 14,40 ± 0,45 | 0,615 ± 0,022 | 24,50 ± 0,76 | 7,30 ± 0,17 |
| PB 217 | 11,10 ± 0,41 | 0,607 ± 0,046 | 23,70 ± 0,74 | 12,00 ± 0,06 |

P_{sat} : laju fotosintesis bersih [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\text{m}^2/\text{s}$]; F_c : hasil kuantum fiksasi CO₂ [$\text{mmol}(\text{CO}_2)/\text{mol}(\text{PFD})$]
 P_{max} : laju fotosintesis dalam kondisi CO₂ jenuh [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\text{m}^2/\text{s}$]; P_n/g_s : rasio fotosintesis terhadap konduktansi stomatal [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\mu\text{mol}(\text{H}_2\text{O})$]; Diadopsi dari Nataraja & Jacob (1999)

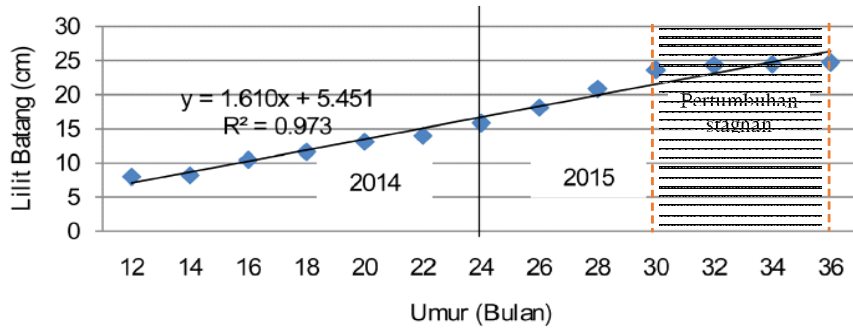
produksi karet berkorelasi negatif terhadap suhu rata-rata (T_{mean}) dan suhu minimum (T_{min}) yang mengindikasikan adanya kecenderungan penurunan hasil dalam kondisi suhu yang meningkat.

Sampai saat ini, program pemuliaan tanaman terutama didedikasikan untuk peningkatan hasil, ketahanan terhadap penyakit, dan adaptasi terhadap lingkungan non-optimal (Priyadarshan *et al.*, 2009). Klon yang dibudidayakan saat ini, sebagian besar hasil persilangan tahun 1970 – 1980, tidak dirancang untuk menghadapi peningkatan kadar CO₂ dan temperatur global. Hal ini dikhawatirkan menyebabkan penurunan produktivitas tanaman secara perlahan-lahan. Berdasarkan skenario perubahan iklim global, Yang *et al.* (2019) memperkirakan bahwa karet yang ditanam pada ketinggian >900 m dpl akan mengalami peningkatan biomassa sebesar 28% dan hasil 48%. Suhu rendah di dataran tinggi yang menjadi faktor pembatas selama ini bergerak ke arah optimal. Sebaliknya, biomassa pada ketinggian <900 m dpl hanya meningkat 8% dan hasil hanya meningkat 10% karena suhu melebihi ambang batas optimal dan memicu cekaman suhu tinggi. Namun demikian, peningkatan suhu global memberi peluang perluasan kesesuaian agroklimat tanaman karet ke daerah dengan ketinggian tertentu yang selama ini tidak sesuai untuk tanaman karet (Fox *et al.*, 2014) atau wilayah peralihan antara tropis dan subtropis (Zomer *et al.*, 2014).

Efek Penurunan Kadar Air Tanah dan Kekeringan

Pada tanaman karet, kadar air dalam daun terus menurun seiring penurunan kadar air tanah (Wang, 2014). Studi sebelumnya menunjukkan defisit kadar air tanah, kondisi dimana volume air hujan atau irigasi aktual lebih rendah dari evapotranspirasi aktual (Ayu *et al.*, 2013), menekan laju fotosintesis (Falqueto *et al.*, 2017), konduktansi stomata, dan fluoresensi klorofil (Azhar *et al.*, 2013). Konduktansi stomata adalah derajat bukatutup stomata, diukur berdasarkan laju aliran masuk CO₂ atau aliran keluar uap air dalam $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{detik}$ dan digunakan sebagai indikator cekaman abiotik seperti kekeringan dan suhu tinggi (Soleh *et al.*, 2018). Fluoresensi klorofil adalah energi cahaya yang diserap klorofil dan dipancarkan kembali. Fluoresensi klorofil digunakan sebagai indikator konversi energi dari proses fotosintesis (Maxwell & Johnson, 2000).

Kadar air tanah juga mempengaruhi *osmotic adjustment*, elastisitas dinding sel, dan efisiensi penggunaan air seperti yang dilaporkan oleh Hessini *et al.* (2009). Saputra *et al.* (2016) mengamati dampak musim kemarau panjang akibat *El Niño* pada tahun 2015 terhadap pertumbuhan karet belum menghasilkan (TBM). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan lilit batang pada semester II berlangsung stagnan (Gambar 5). Pertumbuhan tanaman pada



Sumber: Saputa *et al.* (2016)

Gambar 5. Lilit batang tanaman selama tahun 2014 (normal) dan 2015 (kemarau panjang akibat *el-nino*) pada pengamatan klon PB 260 di Sumatera Selatan

tahun berikutnya turun 65% dibandingkan tahun sebelumnya, hal ini menunjukkan bahwa kekeringan berpotensi memperpanjang periode TBM. Irigasi selama musim kemarau dilaporkan efektif mendorong pertumbuhan tanaman karet (Devakumar *et al.*, 1998), namun praktik ini tidak lazim di perkebunan karet terutama di Indonesia.

Tanaman karet, terutama yang telah disadap rentan mengalami *multiple oxidative stress* yaitu kondisi dimana beberapa faktor cekaman menimbulkan efek peningkatan senyawa *reactive oxygen species* (ROS). Senyawa ROS adalah senyawa oksigen yang memiliki satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan dalam bentuk *singlet oxygen* (1O_2), *superoxide radical* (O_2^-), *hydroxyl radical* (OH^\cdot), *hydrogen peroxide* (H_2O_2), dan ozon (O_3) (Sharma *et al.*, 2012). Cekaman yang dialami tanaman dapat berupa pelukaan dalam proses penyadapan dan pemberian etilen eksogen (Putranto *et al.*, 2015), serangan patogen, dan cekaman lingkungan. *Reactive oxygen species* menurunkan fungsi mitokondria (Kipp & Boyle, 2013) dan menyebabkan kerusakan oksidatif (Suzuki & Mitter, 2006). Pada tingkat

lebih parah, akumulasi ROS melebihi kemampuan detoksifikasi oleh antioksidan dapat memicu aktivasi *programmed cell death* (de Carvalho, 2008).

Stres oksidatif karena kekeringan yang panjang dilaporkan memicu kering alur sadap (KAS) (Kunjet *et al.*, 2013). Pohon yang mengalami KAS tidak mengeluarkan lateks ketika disadap akibat kerusakan jaringan pembuluh lateks. Deka *et al.* (2006) mengidentifikasi klon berpotensi produksi tinggi lebih rentan mengalami KAS daripada klon dengan potensi produksi sedang (Tabel 2). Pada dasarnya, bukan potensi produksi tinggi yang menyebabkan kerentanan terhadap KAS, melainkan tingkat metabolisme tanaman. Klon metabolisme tinggi lebih rentan terhadap KAS dibanding metabolisme rendah dan sedang (Andriyanto & Tistama, 2014). Intensitas KAS diperkirakan akan meningkat di masa yang akan datang karena kecenderungan mengadopsi klon metabolis tinggi dan diperparah oleh musim kering yang panjang. Penerapan komposisi klon berimbang merupakan salah satu upaya mengurangi KAS dalam skala perkebunan.

Tabel 2. Intensitas KAS pada beberapa klon karet dengan sistem sadap ke arah atas

| Klon | Intensitas KAS (%) | | | | Total |
|----------------------------|--------------------|------------|--------|------------------|-------|
| | Rendah | Mediu m | Tinggi | Sangat tinggi | |
| RRII 118 (produksi medium) | 4,8 | 5,5 | 3,0 | 22,3 | 35,6 |
| GT 1 (produksi medium) | 2,8 | 7,3 | 2,8 | 20,3 | 33,4 |
| RRIM 600 (produksi tinggi) | 3,0 | 5,6 | 3,5 | 33,0 | 45,0 |

Diadopsi dari Deka *et al.* (2006)

Umar *et al.* (2017) melaporkan bahwa kelembaban tanah berkorelasi negatif dengan hasil lateks, sejalan dengan Sahuri (2018) yang menyatakan bahwa kadar air tanah lebih berpengaruh terhadap hasil lateks daripada curah hujan dan evapotranspirasi (Tabel 3). Pada tanaman klon PB 260 berumur 16 tahun di Sumatera Selatan, ketika kadar air tanah turun hingga di bawah 100 mm, hasil lateks

maksimum yang dicapai hanya 18 gram per pohon per sadap (g/p/s), lebih rendah dari kondisi normal (>30 g/p/s). Hasil pengamatan tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Siregar (2014) dan Sayurandi *et al.* (2017) yang melaporkan bahwa hasil lateks terendah terjadi pada periode gugur daun bersamaan dengan musim kemarau.

Tabel 3. Hubungan antara curah hujan, evapotranspirasi, dan kandungan air tanah dengan hasil lateks klon PB 260 di Wilayah Sumatera Selatan

| Parameter korelasi | Persamaan regresi | R ² | P-value | R |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------|---------|--------------------|
| Curah hujan dan hasil lateks | $y = 0,020x + 20,554$ | 0,33 | 0,01 | 0,56** |
| Evapotranspirasi dan hasil lateks | $y = 0,041x + 20,704$ | 0,03 | 0,22 | 1,08 ^{tn} |
| Kadar air tanah dan hasil lateks | $y = 0,069x + 11,241$ | 0,49 | 0,01 | 0,70** |

** : nyata pada taraf 0,01; tn: tidak nyata; R²: koefisien determinasi; r: koefisien korelasi.

Sumber: Sahuri (2018), data tahun 2013-2016

Ancaman Penyakit Akibat Serangan Patogen

Curah hujan berlebihan akibat perubahan iklim dapat meningkatkan serangan patogen antara lain penyakit daun (Nurhayati & Situmorang, 2008), *mouldy rot* (Valdetaro *et al.*, 2015), *pink disease* (Fairuzah *et al.*, 2014), dan penyakit jamur akar putih (Nam *et al.*, 2017). Penyakit daun dan jamur akar putih menyebabkan kehilangan hasil signifikan dibanding penyakit lainnya. Tanaman karet mengalami defoliasi secara normal setahun sekali, namun serangan patogen dapat menyebabkan gugur daun sekunder (*secondary leaf fall*). Situmorang *et al.* (2008) melaporkan bahwa *Microcyclus ulei* menurunkan hasil karet hingga 30%. Patogen lain seperti *Phytophthora* spp. mengurangi hasil sampai 32% (Jacob *et al.*, 2006) dan *Corynespora cassicola* sampai 40% (Pawirosoemardjo, 2006).

Dalam beberapa tahun terakhir, dijumpai serangan patogen *Pestalotiopsis microspora* yang menyebabkan gugur daun di Sumatera Utara, Riau, dan sebagian Sumatera Selatan. Serangan patogen ini pada tanaman karet belum pernah dilaporkan terjadi di wilayah ini sebelumnya. Gejala khas penyakit ini adalah hawar kecoklatan konsentris pada daun

(Ngobisa *et al.*, 2017) (Gambar 6A). Penyakit ganas ini menyebabkan gugur daun yang massif (Gambar 6B). Jika penyebaran patogen ini tidak dapat dikendalikan, maka sangat mungkin dapat menghancurkan agribisnis karet di Indonesia seperti ketika Hawar Daun Amerika Selatan (*Microcyclus ulei*) menghancurkan industri karet di Amerika Selatan beberapa dekade yang lalu. Sebelumnya, *Pestalotiopsis* dilaporkan merupakan patogen minor di kelapa sawit (Martinez & Plata-Rueda, 2013). Diduga bahwa perubahan lingkungan memicu evolusi patogen dan penularan antar spesies (Gautam *et al.*, 2013; Lamichhane & Venturi, 2015).

Selain penyakit daun, penyakit jamur akar putih (*Rigidoporus microporus*) juga mengkhawatirkan karena menurunkan kerapatan tanaman secara signifikan. Penyakit ini terdeteksi secara visual ketika daun sudah kusam dan akar mulai busuk (Sulaiman *et al.*, 2014). Pohon yang terinfeksi parah menunjukkan tanda-tanda kematian seperti defoliasi dan cabang-cabang mulai mengering. Penyakit ini menyebar melalui sistem perakaran menyebabkan areal kosong di tengah areal tanaman karet.



Gambar 6. Daun karet terinfeksi *Pestalotiopsis microspora* (A), areal tanaman mengalami gugur daun akibat *Pestalotiopsis microspora* (B) di Sumatera Utara

Kehilangan Produksi akibat Hujan

Hujan pagi menghambat kegiatan panen (Waduge *et al.*, 2015). Lateks yang mengalir dari batang yang basah sulit diarahkan ke mangkuk penampung sehingga sebagian besar terbang. Air hujan juga dapat meluap membawa lateks sehingga penyadapan tidak menghasilkan lateks sama sekali. Jika lateks dapat dikumpulkan, kadar karet kering (KKK) lateks sangat rendah karena tercampur air. Frekuensi hujan yang tinggi mengurangi hari sadap efektif dan menurunkan produksi kumulatif tahunan (Makkaew & Sdoodee, 2015).

Selain curah hujan, angin kencang menyebabkan kerugian yang signifikan (Qi *et al.*, 2016). Arsitektur tajuk tanaman karet yang berat sangat rentan terhadap kerusakan angin. Studi oleh Umar *et al.* (2017) menunjukkan bahwa kecepatan angin memiliki koefisien regresi negatif terhadap hasil karet. Serangan angin dapat mematahkan batang pohon (Gambar 7A) atau bahkan merobohkan tanaman (Gambar 7B). Penurunan kerapatan tanaman yang drastis seringkali mendorong perusahaan perkebunan karet untuk

mempercepat program peremajaan sebelum masanya.

Virot *et al.* (2016) melaporkan bahwa kecepatan angin kritis di mana pohon patah adalah konstan (~42 m/s), terlepas dari karakteristik pohon. Meskipun demikian, Gardiner *et al.* (2016) mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kerentanan dan tingkat kerusakan akibat serangan angin yaitu tinggi tanaman, arsitektur tajuk, kekuatan dan fleksibilitas batang, jarak tanam, dan kekuatan akar. Pohon tumbang terutama disebabkan kombinasi tajuk yang berat dan akar yang membusuk. Di daerah endemik penyakit jamur akar putih, penurunan kerapatan tanaman akan lebih signifikan (Omorusi, 2012). Qi *et al.* (2014) melaporkan bahwa jumlah tanaman produktif di perkebunan karet menurun seiring bertambahnya umur tanaman terutama disebabkan oleh KAS dan kerusakan angin.

Evolusi Spesies Gulma

Gulma di perkebunan karet sangat merugikan karena menghambat pertumbuhan tanaman karet, penurunan efisiensi



Gambar 7. Patah batang (A) dan pohon tumbang (B) akibat serangan angin

pemupukan, mengganggu kegiatan panen, dan menjadi inang patogen. Gulma yang umum dijumpai di perkebunan karet antara lain: *Axonopus compressus*, *Eleusine indica*, *Imperata cylindrica*, *Cynodon dactylon*, *Paspalum conjugatum*, *Cyperus rotundus*, *Cyperus killinia*, *Mikania cordata*, *Ageratum conyzoides*, *Mimosa pudica*, *Passiflora foetida*, *Gleichenia linearis*, *Pityrogramma calomelanos*, *Blumea lacera*, *Cibotium barometz*, *Melastoma affine*, *Nephrolepis hirsutula*, *Lygodium flexuosa*, *Polygala paniculata*, dan *Melhania incana* (Sari & Rahayu, 2013; Novalinda *et al.*, 2014). Dalam kondisi perubahan iklim global, beberapa spesies gulma dapat mengambil manfaat dari peningkatan kadar CO₂, peningkatan suhu tanah dan atmosfer, dan perubahan distribusi curah hujan (Malakodi *et al.*, 2017). Keunggulan gulma dalam adopsi perubahan lingkungan disebabkan oleh plastisitas fisiologis dan variasi genetik yang lebih besar dibandingkan dengan tanaman budidaya. Spesies gulma sangat mungkin berevolusi dan mengembangkan sifat-sifat anatomis, morfologis dan fisiologis (Naidu & Murthy, 2014) dan memanfaatkan peningkatan konsentrasi CO₂ atmosfer untuk menstimulasi asimilasi karbon terutama spesies C₄ (Reddy *et al.*, 2010; Fiadini, 2011; Ramesh *et al.*, 2017).

Perubahan iklim menyebabkan sebagian gulma menjadi lebih agresif dan sulit dikendalikan akibat peningkatan akumulasi biomassa, alokasi fotosintat pada sistem perakaran, dan sintesis metabolit sekunder (Noctor & Mhamdi, 2017; Waryszak *et al.*, 2018). Penelitian Matzrafi *et al.* (2009) menunjukkan bahwa sensitivitas *Conyza canadensis* dan *Chenopodium album* terhadap glifosat menurun dalam kondisi peningkatan suhu dan kadar CO₂. Glifosat dengan cepat ditranslokasikan ke jaringan meristem apikal dan akar sehingga mencegah penyebaran ke organ lain. Peningkatan resistensi gulma terhadap herbisida menyebabkan pendekatan kimia yang selama ini menjadi pilihan utama di perkebunan karet menjadi kurang efektif (Refatti *et al.*, 2019). Oleh sebab itu, pengendalian gulma terpadu (*integrated weed management*) meliputi pengendalian secara manual, mekanis, dan khemis selektif

merupakan pilihan rasional di masa yang akan datang (Chikowo *et al.*, 2009; Knezevic *et al.*, 2017).

Upaya Meminimalisir Dampak Negatif Perubahan Iklim melalui Manajemen Budidaya

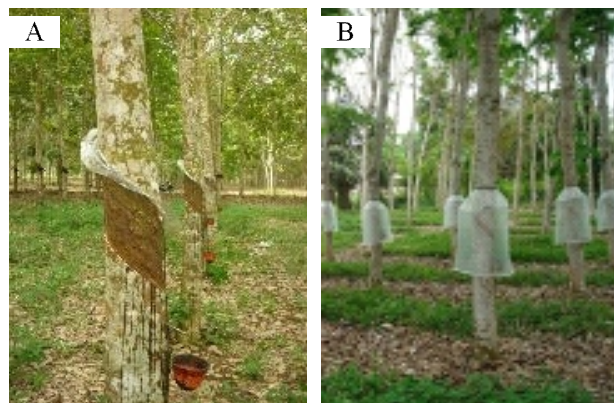
Perubahan iklim global memiliki dampak luas terhadap teknis budidaya karet. Penanaman klon adaptif adalah pendekatan utama untuk meminimalkan dampak negatif dari perubahan iklim (Chapman *et al.*, 2012). Namun, tidak seperti pada tanaman semusim yang dapat menghasilkan varietas baru dapat waktu singkat, perakitan klon karet membutuhkan 20 - 40 tahun dari mulai persilangan hingga pengamatan performa tanaman di lapangan (Bombonato *et al.*, 2015; Priyadarshan, 2017). Klon yang dibudidayakan secara luas saat ini sebagian besar dirakit pada tahun 1980 - 1990an dimana kondisi lingkungan mungkin saat ini telah berubah. Klon metabolisme tinggi (*quick starter*) yang rentan mengalami KAS semakin populer dan dibudidayakan secara luas sehingga ancaman KAS sepertinya tidak dapat dihindari. Pencegahan sindrom fisiologis ini dapat dilakukan melalui penerapan sistem penyadapan tipologi klon (Sumarmadji *et al.*, 2012; Gohet *et al.*, 2015), diagnosis lateks (Christophe *et al.*, 2018), dan peralihan antar panel sadap untuk mencegah kelelahan fisiologis (Michels *et al.*, 2012; Lacote *et al.*, 2013).

Penanaman tanaman penutup tanah, pembuatan rorak dan konservasi air dapat dilakukan untuk mengurangi dampak kekeringan (Kaye & Quemada, 2017). Di daerah endemik jamur akar putih, pengolahan lahan secara mekanis diperlukan untuk membasmi inokulum patogen. Selain pendekatan kimia, pengendalian secara biologis menggunakan *Tricoderma sp.* dilaporkan efektif menekan *R. microporus* (Amaria *et al.*, 2016; Yulia *et al.*, 2017). Untuk mengurangi kehilangan hasil akibat hujan, penggunaan pelindung hujan dalam bentuk talang (Gambar 8A), atau tutup plastik (Gambar 8B) direkomendasikan untuk daerah

dengan curah hujan tinggi (Waduge *et al.*, 2015). Alat ini bertujuan mencegah air mengalir di panel sadap sehingga ketika hujan berhenti penyadapan dapat segera dilakukan. Penggunaan alat pelindung hujan dilaporkan dapat mengurangi kehilangan hasil karet. Rata-rata produksi per pohon per sadap (g/p/s) dengan menggunakan alat pelindung hujan lebih tinggi 23 - 30% dibanding tanpa pelindung (Zaw *et al.*, 2017).

Diaby *et al.* (2011) dan Arshad (2012) merekomendasikan parameter kesesuaian iklim dalam pertimbangan budidaya dan manajemen penanaman karet. Kerusakan angin dapat diminimalisir melalui modifikasi jarak tanam (Qi *et al.*, 2016), penggunaan *windbreaker* (Achmad & Aji, 2016), dan penanaman klon yang relatif tahan angin (Das

et al., 2010). Selanjutnya, Cilas *et al.* (2004) mencatat bahwa arsitektur kanopi adalah atribut penting terkait dengan ketahanan terhadap angin. Klon GT1, relatif tahan angin, memiliki cabang lateral yang pendek, sementara PB 235 memiliki lebih sedikit cabang aksial namun lebih panjang sehingga lebih rentan terhadap kerusakan angin (Gireesh & Mydin, 2011). Untuk menekan pertumbuhan gulma, karet dapat ditumpangsarikan dengan tanaman semusim seperti padi, cabai, sorgum, atau komoditas bernilai ekonomi tinggi lainnya selain penerapan pengendalian gulma terpadu. Clermont-Dauphin *et al.* (2018) melaporkan bahwa tumpangsari juga dapat meningkatkan ketahanan pohon karet terhadap kekeringan.



Gambar 8. *Rain guard* dalam bentuk talang (A) dan tutup plastik (Gambar B) untuk mencegah kehilangan hasil karena air hujan

Kesimpulan

Pemanasan global dan perubahan iklim berdampak luas terhadap budidaya tanaman karet. Peningkatan suhu dan kekeringan menghambat pertumbuhan tanaman, memperpanjang periode TBM, menurunkan hasil, dan meningkatkan potensi kejadian KAS. Sebaliknya, curah hujan yang berlebihan menghambat kegiatan panen, menyebabkan kehilangan hasil dan meningkatkan serangan penyakit daun dan akar. Ancaman lain adalah evolusi gulma menjadi lebih agresif dan lebih sulit dikendalikan. Perakitan klon adaptif terhadap perubahan iklim global mendesak untuk dilakukan. Upaya mengurangi dampak kekeringan dapat dilakukan dengan

penanaman tanaman penutup tanah, pembuatan rorak dan konservasi air. Potensi kejadian KAS dapat diminimalisir melalui penerapan sistem penyadapan tipologi klon, diagnosis lateks, dan manajemen panel sadap. Pengolahan lahan secara mekanis disarankan untuk areal endemik JAP di samping pengendalian secara kimia (fungisida) dan biologi (agensia hayati). Antisipasi serangan angin dapat dilakukan dengan modifikasi jarak tanam dan penggunaan tanaman pemecah angin untuk mencegah penurunan populasi yang signifikan. Untuk mengurangi kehilangan hasil akibat hujan, disarankan penggunaan pelindung hujan di daerah dengan curah hujan tinggi. Pengendalian gulma dapat dilakukan dengan penerapan

pengendalian gulma terpadu. Selain itu, tumpang sari dengan tanaman semusim juga dapat dilakukan untuk menekan pertumbuhan gulma di areal tanaman karet.

Daftar Pustaka

- Achmad, S. R., & Aji, Y. B. S. (2016). Pertumbuhan tanaman karet belum menghasilkan di lahan pesisir pantai dan upaya pengelolaan lahannya. *Warta Perkaratan*, 35(1), 11-24. doi:10.22302/wp.v35i1.76.
- Aldrian, E., Karmini, M., & Budiman. (2011). *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim Global*. Jakarta, Indonesia: Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Amaria, W., Soesanthy, F., & Ferry, Y. (2016). Keefektifan biofungisida *Tricoderma* sp. dengan tiga jenis bahan pembawa terhadap jamur akar putih *Rigidoporus microporus*. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar*, 3(1), 37-44. doi:10.21082/jtidp.v3n1.2016.p37-44.
- Andriyanto, M., & Tistama, R. (2014). Perkembangan dan upaya pengendalian kering alur sadap (KAS) pada tanaman karet (*Hevea brasiliensis*). *Warta Perkaratan*, 33(2), 89-102. doi:10.22302/ppk.wp.v33i2.54.
- Arshad, A. M., Armanto, M. E., & Adzemi, A. F. (2012). Evaluation of climate suitability for rubber (*Hevea brasiliensis*) cultivation in Peninsular Malaysia. *Journal of Environmental Science and Engineering*, A2(2), 293-298.
- Ayu, I. W., Prijono, S., & Soemarno. (2013). Evaluasi ketersediaan air tanah lahan kering di Kecamatan Unter Iwes, Sumbawa Besar. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 4(1), 18-25.
- Azhar, A., Sathornkich, J., Rattanawong, R., & Kasemsap, P. (2013). Responses of chlorophyll fluorescence, stomatal conductance, and net photosynthesis rates of four rubber (*Hevea brasiliensis*) genotypes to drought. *Advanced Materials Research*, 844, 11-14. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.844.11.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2011). *Pedoman Umum: Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pertanian.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2018). Karet: sentra produksi. diakses dari <http://inaagrimap.litbang.pertanian.go.id/index.php/sentra-produksi/tanaman-perkebunan/karet>.
- Berkeley Earth. (2019). Global Temperature Report for 2017. diakses dari <http://berkeleyearth.org/global-temperatures-2017/>.
- Bombonato, A. L., Gouvêa, L. R. L., Verardi, C. K., Silva, G. A. P., & de Souza Gonçalves, P. (2015). Rubber tree ortetramet genetic correlation and early selection efficiency to reduce rubber tree breeding cycle. *Industrial Crops and Products*, 77, 855-860. doi:10.1016/j.indcrop.2015.09.020.
- Chapman, S. C., Chakraborty, S., Dreccer, M. F., & Howden, S. M. (2012). Plant adaptation to climate change—opportunities and priorities in breeding. *Crop and Pasture Science*, 63(3), 251-268. doi:10.1071/CP11303.
- Chikowo, R., Faloya, V., Petit, S., & Munier-Jolain, N. M. (2009). Integrated weed management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132(3-4), 237-242. doi:10.1016/j.agee.2009.04.009.
- Choudhury, S., Panda, P., Sahoo, L., & Panda, S. K. (2013). Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. *Plant signaling & behavior*, 8(4), e23681-23681-e23681-23686
- Christophe, A. B. Y., Mathurin, O. K., Pacôme, O. A., Olivier, A. G. J., Kouadio, B. E., Jean-Lopez, E., . . . Samuel, O. (2018). Contribution of latex micro diagnosis to modern management of rubber plantations: case of clones with low or slow metabolism PB 217 and PR 107. *European Scientific Journal*, 14(9), 312-329. doi:10.19044/esj.2018.v14n9p312.

- Cilas, C., Costes, E., Milet, J., Legnaté, H., Gnagne, M., & Clément-Demange, A. (2004). Characterization of branching in two *Hevea brasiliensis* clones. *Journal of Experimental Botany*, 55(399), 1045-1051. doi:10.1093/jxb/erh114.
- Clermont-Dauphin, C., Dissataporn, C., Suvannang, N., Pongwichian, P., Maeght, J.-L., Hammecker, C., & Jourdan, C. (2018). Intercrops improve the drought resistance of young rubber trees. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(6), 56-66. doi:10.1007/s13593-018-0537-z.
- Das, G., Chaudhuri, D., & Varghese, Y. A. (2010). Evaluation of *Hevea* clones in the mature phase under the agroclimate of Sub-Himalayan West Bengal. *Journal of Plantation Crops*, 38(2), 105-110.
- Daslin, A., & Pasaribu, S. A. (2015). Uji adaptasi klon karet IRR seri 100 pada agroklimat kering di Kebun Sungei Baleh Kabupaten Asahan Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Karet*, 33(1), 25-34. doi:10.22302/jpk.v33i1.168.
- de Carvalho, M. H. C. (2008). Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. *Plant Signaling and Behavior*, 3(3), 156-165. doi:10.4161/psb.3.3.5536.
- Deka, H. K., Mathew, J., Abraham, T., & Jacob, C. K. (2006). Characterisation of TPD in Different Clones of *Hevea* in CUT Panel. In J. Jacob, R. Krishnakumar, & N. M. Mathew (Eds.), *Tapping Panel Dryness of Rubber Trees*. Kottayam, India: Rubber Research Institute of India.
- Devakumar, A. S., Sathik, M. B. M., Jacob, J., Annamalainathan, K., Prakash, P. G., & Vijayakumar, K. R. (1998). Effects of atmospheric and soil drought on growth and development of *Hevea brasiliensis*. *Journal of Rubber Research*, 1(3), 190-198.
- Devakumar, A. S., Shayee, M. S. S., Udayajumar, M., & Prasad, T. G. (1998). Effect of elevated CO₂ concentration on seedling growth rate and photosynthesis in *Hevea brasiliensis*. *Journal of Bioscience*, 23(1), 1-3. doi:10.1007/BF02728521.
- Diaby, M., Ferrer, H., Valognes, F., & Clement-Vidal, A. (2011). A comprehensive decision approach for rubber tree planting management in Africa. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 18, 187-201. doi:10.1002/mcda.465.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2016). *Statistik Perkebunan Indonesia 2015 - 2017: Karet*. Jakarta, Indonesia: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Fairuzah, Z., Dalimunthe, C. I., & Daslin, A. (2014). Efektivitas bakteri antagonis (*Pseudomonas* sp.) untuk mengendalikan penyakit cabang jamur upas (*Corticium salmonicolor*). *Jurnal Penelitian Karet*, 32(1), 37-44. doi:10.22302/jpk.v32i1.149.
- Falqueto, A. R., Junior, R. A., da S., G., M. T. G., Martins, J. P. R., Silva, D. M., & Partelli, F. L. (2017). Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Scientia Horticulturae*, 224(238-243). doi:10.1016/j.scienta.2017.06.019.
- Fiadini. (2011). Respon Fisiologis Tanaman Terhadap Peningkatan CO₂. diakses dari <http://www.bbpp-lembang.info/index.php/arsip/artikel/artikel-pertanian/554-respon-fisiologis-tanaman-terhadap-peningkatan-co2>
- Fox, J., Castella, J.-C., Ziegler, A. D., & Westley, S. B. (2014). Expansion of rubber mono-cropping and its implications for the resilience of ecosystems in the face of climate change in montane mainland Southeast Asia. *Global Environmental Research*, 18, 145-150.
- Gardiner, B., Berry, P., & Moulia, B. (2016). Review: wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant science*, 245, 94-118. doi:10.1016/j.plantsci.2016.01.006.
- Gautam, H. R., Bhardwaj, M. L., & Kumar, R. (2013). Climate change and its impact on plant diseases. *Current Science*, 105(12), 1685-1691.
- Gireesh, T., & Mydin, K. K. (2011, 15-16 December). *Attempts to evolve compact crown clones of Hevea brasiliensis*. Tulisan disajikan pada IRRDB International Rubber Conference,, Chiang Mai.

- Gohet, E., Cavaloc, E., Cardoso, S., Cairo, I., Garcia, D., Rivano, F., . . . Lesturgez, G. (2015, 2-3 November). *A first physiological assessment of latex clonal metabolic typology and rubber yield potential of "CMS" rubber tree clones*. Tulisan disajikan pada Conference: International Rubber Conference 2015 "Productivity and Quality Towards a Sustainable and Profitable Natural Rubber Sector, Ho Chi Minh City.
- Hessini, K., Pablo, J., Gandour, M., Albouchi, A., Soltani, A., & Abdelly, C. (2009). Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 312-319. doi:10.1016/j.envexpbot.2009.06.010.
- Invasive Species Council. (2009). Fact Sheet: Weeds and Climate Change. diakses dari https://invasives.org.au/wp-content/uploads/2014/02/fs_weedsandclimatechange.pdf
- Jacob, C. K., Prern, E. E., Manju, M. J., Ldicula, S. P., & Edathil, T. T. (2006). Crop loss due to abnormal leaf fall disease of rubber (*Hevea brasiliensis*) caused by *Phytophthora* spp. *Natural Rubber Research*, 19(1-2), 1-8.
- Junaidi, Sembiring, Y. R. V., & Siregar, T. H. S. (2015^a). pengaruh perbedaan letak geografi terhadap pola produksi tahunan tanaman karet: faktor penyebab perbedaan pola produksi tahunan tanaman karet. *Warta Perkaratan*, 34(2), 137-146.
- Junaidi, Sembiring, Y. R., & Siregar, T. H. S. (2015^b). Pengaruh perbedaan letak geografi terhadap pola produksi tahunan tanaman karet: pola produksi dan pengaruhnya terhadap pasar dunia. *Warta Perkaratan*, 34(2), 127-136. doi:10.22302/ppk.wp.v34i2.255.
- Kaye, J. P., & Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(4), 1-17. doi:10.1007/s13593-016-0410-x.
- Kipp, E., & Boyle, M. (2013). The effects of heat stress on reactive oxygen species production and chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Research in Plant Sciences*, 1(2), 20-23. doi:10.12691/PLANT-1-2-3.
- Knezevic, S. Z., Jhala, A., & Datta, A. (2017). Integrated Weed Management. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 3, 459-462. doi:10.1016/B978-0-12-394807-6.00231-8.
- Kositsup, B., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Chairungsee, N., Satakhum, D., Teerawatanasuk, K., . . . Thaler, P. (2010). Effect of leaf age and position on light-saturated CO₂ assimilation rate, photosynthetic capacity, and stomatal conductance in rubber trees. *Photosynthetica*, 48(1), 67-78. doi:10.1007/s11099-010-0010-y.
- Kunjet, S., Thaler, P., Gay, F., Chuntuma, P., Sangkhsila, K., & Kasemsap, P. (2013). Effects of drought and tapping for latex production on water relations of *Hevea brasiliensis* trees. *Kasetsart Journal - Natural Sciences*, 47(4), 506-515.
- Lacote, R., Doumbia, A., Obouayeba, S., Gohet, E., Michels, T., & Gohet, E. (2013). Tapping panel diagnosis, an innovative on-farm decision support system for rubber tree tapping. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3), 791-801. doi:10.1007/s13593-011-0069-2.
- Lamichhane, J. R., & Venturi, V. (2015). Synergisms between microbial pathogens in plant disease complexes: a growing trend. *Frontiers in Plant Science*, 06, 1-12. doi:10.3389/fpls.2015.00385.
- Makkaew, K. R. K., & Sdoodee, S. (2015). The impact of rainfall fluctuation on days and rubber productivity in Songkhla Province. *Journal of Agricultural Technology*, 11(1), 181-191.
- Malakodi, N., Manikandan, N., & Ramaraj, A. P. (2017). Impact of climate and carbon dioxide change on weeds and their management - a review. *Indian Journal of Weed Science*, 4(4), 1-6.

- Mann, M. (2019). Greenhouse gas. diakses dari <https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas>
- Martínez, L. C., & Plata-Rueda, A. (2013). Lepidoptera vectors of Pestalotiopsis fungal disease: first record in oil palm plantations from Colombia. *International Journal of Tropical Insect Science*, 33(4), 239–246. doi:10.1017/S1742758413000283.
- Matzrafi, M., Brunharo, C., Tehranchian, P., Hanson, B. D., & Jasieniuk, M. (2019). Increased temperatures and elevated CO₂ levels reduce the sensitivity of *Conyza canadensis* and *Chenopodium album* to glyphosate. *Scientific reports*, 9(1), 1-11. doi:10.1038/s41598-019-38729-x.
- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668. doi:10.1093/jxb/51.345.659.
- McGrath, J. M., & Lobell, D. B. (2013). Regional disparities in the CO₂ fertilization effect and implications for crop yields. *Environmental Research Letters*, 8(1), 1-9. doi:10.1088/1748-9326/8/1/014054.
- Measey, M. (2010). Indonesia: a vulnerable country in the face of climate change. *Global Majority E-Journal*, 1(1), 31-45.
- Mendelsohn, R. (2008). The impact of climate change on agriculture in developing countries. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1(1), 5-19. doi:10.1080/19390450802495882.
- Michels, T., Eschbach, J. M., Lacote, R., Benneveau, A., & Papy, F. (2012). Tapping panel diagnosis, an innovative on-farm decision support system for rubber tree tapping. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3), 791–801. doi:10.1007/s13593-011-0069-2.
- Naidu, V. S. G. R., & Murthy, T. G. K. (2014). Crop-weed interactions under climate change. *Indian Journal of Weed Science*, 46(1), 61-65.
- Nam, M. G., Wawa, N. S., Ejolle, E. E., & Nkengafac, N. J. (2017). Management of white root rot disease (Fomes) in *Hevea brasiliensis* plantations in Cameroon. *American Journal of Plant Sciences*, 08(07), 1646–1658. doi:10.4236/ajps.2017.87114.
- Nataraja, K. N., & Jacob, J. (1999). Clonal differences in photosynthesis in *Hevea Brasiliensis* Müll. Arg. *Journal of Photosynthetic*, 36(1-2), 89–98. doi:10.1023/A:1007070820925.
- National Aeronautics and Space Administration. (2019). Sea Level. diakses dari <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019). Carbon dioxide levels in atmosphere hit record high in May. diakses dari <https://www.noaa.gov/news/carbon-dioxide-levels-in-atmosphere-hit-record-high-in-may>
- Ngobisa, A. I. C. N., Ndongo, P. A. O., Doungous, O., Ntsomboh-Ntsefong, G., Njonje, S. W., & Ehabe, E. E. (2017, 18-20 October). *Characterization of Pestalotiopsis microspora, casual agent of leaf blight on rubber (Hevea brasiliensis) in Cameroon*. Tulisan disajikan pada International Rubber Conference, Jakarta.
- Nguyen, B. T., & Dang, M. K. (2016). Temperature dependence of natural rubber productivity in the southeastern Vietnam. *Industrial Crops and Products*, 83, 24-30. doi:10.1016/J.INDCROP.2015.12.019.
- Noctor, G., & Mhamdi, A. (2017). Climate change, CO₂, and defense: The metabolic, redox, and signaling perspectives. *Trends In Plant Science*, 22(10), 857–870. doi:10.1016/j.tplants.2017.07.007.
- Novalinda, R., Syam, Z., & Solfiyeni. (2014). Analisis vegetasi gulma pada perkebunan karet (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) di Kecamatan Batang Kapas, Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 3(2), 129–134.

- Nurhayati, & Situmorang, A. (2008). Pengaruh pola hari hujan terhadap perkembangan penyakit gugur daun *Corynespora* pada tanaman karet menghasilkan. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 8(1), 63-70.
- Okoma, K. M., Dian, K., Obouayeba, S., Elabo, A. A. E., & N'guetta, A. S. P. (2011). Seasonal variation of tapping panel dryness expression in rubber tree *Hevea brasiliensis* Muell. Arg in Cote d'Ivoire. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(3), 559-569. doi:10.5251/abjna.2011.2.3.559.569.
- Oliver, J. G. J., & Peters, J. A. H. W. (2018). *Trends in Global CO2 and Total Greenhouse Gas Emissions: 2018 Report*. Diakses dari PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Omorusi, V. I. (2012). Effects of white root rot disease on *Hevea brasiliensis* (Muell. Arg.) – challenges and control approach. In N. K. Dhal (Ed.), *Plant science*. London, UK: Intechopen.
- Onyekachi, O. G., Boniface, O. O., Gemlack, N. F., & Nicholas, N. (2019). The Effect of Climate Change on Abiotic Plant Stress: A Review. In A. de Olivera (Ed.), *Abiotic and Biotic Stress in Plants*. London, UK: IntechOpen.
- Pautasso, M., Döring, T. F., Garbelotto, M., Pellis, L., & Jeger, M. J. (2012). Impacts of climate change on plant diseases-opinions and trends. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 295–313. doi:10.1007/s10658-012-9936-1.
- Pawirosoemardjo, S. (2006, 4-6 September). *Manajemen pengendalian penyakit pada tanaman karet*. Tulisan disajikan pada Lokakarya Nasional Budidaya Tanaman Karet, Medan.
- Pinizzotto, S. (2019). The Condition and Outlook of World Natural Rubber Supply and Demand. diakses dari <http://www.shfe.com.cn/content/2019-528/speech/XJ-Pinizzotto>:
- Priyadarshan, P. M. (2017). Refinements to *Hevea* rubber breeding. *Tree Genetics & Genomes*, 13, 1-17. doi:10.1007/s11295-017-1101-8.
- Priyadarshan, P. M., Goncalves, P. S., & Omokhafa, K. O. (2009). Breeding of *Hevea* rubber. In S. M. Jain & P. M. Priyadarshan (Eds.), *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species*. New York, USA: Springer Science+Business Media, LLC.
- Putranto, R. A., Herlinawati, E., Rio, M., Leclercq, J., Piyatrakul, P., Gohet, E., . . . Montoro, P. (2015). Involvement of ethylene in the latex metabolism and tapping panel dryness of *Hevea brasiliensis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 17885–17908. doi:10.3390/ijms160817885.
- Qi, D., Zhou, J., Xie, G., & Wu, Z. (2014). Studies on rubber (*Hevea brasiliensis*) trees exist plant type after planting and available tapping tree of rubber plantation in China. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 3017–3021. doi:10.4236/ajps.2014.520318.
- Qi, D., Zhou, J., Xie, G., & Wu, Z. (2016). Optimizing tapping-tree density of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations in South China. *Small-Scale Forestry*, 15(1), 61–72. doi:10.1007/s11842-015-9308-8.
- Ramesh, K., Matloob, A., Aslam, F., Florentine, S. K., & Chauhan, B. S. (2017). Weeds in a changing climate: Vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. *Frontiers in Plant Science*, 8(95), 1-12. doi:10.3389/fpls.2017.00095.
- Reddy, A. R., Rasineni, G. K., & Raghavendra, A. S. (2010). The impact of global elevated CO2 concentration on photosynthesis and plant productivity. *Current Science*, 99(1), 46-57.
- Refatti, J. P., de Avila, L. A., Edinalvo Rabaioli Camargo, E. R., Ziska, L. H., Oliveira, C., Perez, R. S., . . . Burgos, N. R. (2019). High [CO2] and temperature increase resistance to cyhalofop-butyl in multiple-resistant *Echinochloa colona*. *Frontiers in Plant Science*, 10(May), 1-11. doi:10.3389/fpls.2019.00529.
- Sahuri. (2018). Hubungan antara neraca air lahan dan produksi karet klon PB 260. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(1), 38–43. doi:10.18343/jipi.23.1.38.

- Santini, A., & Ghelardini, L. (2015). Plant pathogen evolution and climate change. *CAB Reviews*, *10*(035), 1-9. doi:10.1079/pavsnr201510035.
- Saputra, J., Stevanus, C. T., & Cahyo, A. N. (2016). Dampak el-nino tahun 2015 terhadap pertumbuhan tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) di Kebun Percobaan Balai Penelitian Sembawa. *Widyariset*, *2*(1), 37-46.
- Sari, H. F. M., & Rahayu, S. S. B. (2013). Jenis-Jenis gulma yang ditemukan di perkebunan karet (*Hevea brasiliensis* Roxb.) Desa Rimbo Datar Kabupaten 50 Kota Sumatera Barat. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, *1*(1), 28-32. doi:10.24252/bio.v1i1.444.
- Sayurandi, Wirnas, D., & Woelan, S. (2017). Pengaruh dinamika gugur daun terhadap keragaman hasil lateks beberapa genotipe karet harapan hasil persilangan 1992 di pengujian plot promosi. *Warta Perkebunan*, *36*(1), 1-14. doi:10.22302/ppk.wp.v36i1.306.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pesarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, *2012*, 1-26. doi:10.1155/2012/217037.
- Siregar, T. H. S. (2014). Pola musiman produksi dan gugur daun pada klon PB 260 dan RRIC 100. *Jurnal Penelitian Karet*, *32*(2), 88-97. doi:10.22302/jpk.v32i2.155.
- Situmorang, A., Suryaningtyas, H., & Febbiyanti, T. R. (2008, 20-21 Agustus). *Penyakit hawar daun Amerika Selatan dan pengendaliannya pada tanaman karet*. Tulisan disajikan pada Lokakarya Nasional Agribisnis Karet 2008, Yogyakarta.
- Skinner, C. B., Poulsen, C. J., & Mankin, J. S. (2018). Amplification of heat extremes by plant CO₂ physiological forcing. *Nat Commun*, *9*(1), 1-11. doi:10.1038/s41467-018-03472-w.
- Soleh, M. A., Manggala, R., Maxiselly, Y., Ariyanti, M., & Anjarsari, I. R. D. (2018). Respons konduktansi stomata beberapa genotipe tebu sebagai parameter toleransi terhadap stress abiotik. *Kultivasi*, *16*(3), 490-493. doi:10.24198/kltv.v16i3.14455.
- Sulaiman, M. S., Hashim, H., Abdullah, N. E., Rahmat, S. S., Wahid, N., Azmi, A. F. M., & Ismail, F. A. (2014). Early detection of white-root disease for rubber tree based on leaf discoloration with neural network technique. *Journal of Applied Science and Agriculture*, *9*(11), 341-351. doi:10.13140/2.1.1398.8800.
- Sumarmadji, Junaidi, Atminingsih, Kuswanhadi, & Rouf, A. (2012, 19-20 September). *aket teknologi penyadapan untuk optimasi produksi sesuai tipologi klon*. Tulisan disajikan pada Konferensi Nasional Karet, Yogyakarta.
- Suzuki, N., & Mittler, R. (2006). Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction. *Physiologia Plantarum*, *126*(1), 45-51. doi:10.1111/j.0031-9317.2005.00582.x.
- Tesfai, M., Moed, I., Greipsland, I., Huber, T., & van Duivenbooden, N. (2016). Adaptation and mitigation to climate change: integrated soil and nutrient management practices. In U. S. Nagothu (Ed.), *Climate Change and Agricultural Development* London, UK: Routledge.
- Umar, H. Y., Okore, N. E., Toryla, M., Asemota, B., & Okore, I. K. (2017). Evaluation of the impact of climatic factors on latex yield of *Hevea brasiliensis*. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, *3*(5), 28-33. doi:10.20431/2454-6224.0305004.
- United States Environmental Protection Agency. (2019). Global Greenhouse Gas Emissions Data. diakses dari <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data#Country>
- Valdetaro, D. C. O. F., Oliveira, L. S. S., Guimaraes, Lucio, M. S., Harrington, T. C., Ferreire, M. A., . . . Alfnas, A. C. (2015). Genetic variation, morphology and pathogenicity of *Ceratocystis fimbriata* on *Hevea brasiliensis* in Brazil. *Tropical Plant Pathology volume*, *40*, 184-192. doi:10.1007/s40858-015-0036-6.

- Viro, E., Ponomarenko, A., Dehandschoewercker, Quéré, D., & Clanet, C. (2016). Critical wind speed at which trees break. *Physical Review E*, 93(2), 1-7. doi:10.1103/PhysRevE.93.023001.
- Waduge, T. D., Edirisnghe, J. C., Fernando, A. P. S., Herath, H. M. L. K., & Jayasinghe-Mudalige, U. K. (2015). Labour and weather related risks in smallholder rubber production: evidence from Kalutara district. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 16(3), 87-91. doi:10.4038/tare.v16i3.5281.
- Wang, L. F. (2014). Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 83 (October), 243 - 249. doi:10.1016/j.plaphy.2014.08.012.
- Waryszak, P., Lenz, T. I., Leishman, M. R., & Downey, P. O. (2018). Herbicide effectiveness in controlling invasive plants under elevated CO₂: Sufficient evidence to rethink weeds management. *Journal of Environmental Management*, 226, 400-407. doi:10.1016/j.jenvman.2018.08.050.
- Wihardjaka, A. (2016). Dampak perubahan iklim global terhadap bencana kekeringan di Indonesia. diakses dari <http://balingtang.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/berita/202-dampak-perubahan-iklim-global-terhadap-bencana-kekeringan-di-indonesia>
- World Meteorological Organization. (2019). 2019 concludes a decade of exceptional global heat and high-impact weather. diakses dari <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2019-concludes-decade-of-exceptional-global-heat-and-high-impact-weather>
- Yang, X., Blagodatsky, S., Marohn, C., Liu, H., Golbon, R., Xu, J., & Cadisch. (2019). Climbing the mountain fast but smart: modelling rubber tree growth and latex yield under climate change. *Forest Ecology and Management*, 439, 55–69. doi:10.1016/j.foreco.2019.02.028.
- Yulia, E., Istifadah, N., Widiyanti, F., & Utami, H. S. (2017). Antagonisme *Trichoderma* spp. terhadap jamur *Rigidoporus lignosus* (Klotzsch) dan penekanan penyakit jamur akar putih pada tanaman karet. *Jurnal Agrikultura*, 28(1), 47 – 55. doi: 10.24198/agrikultura.v28i1.13226.
- Zaw, Z. N., Sdoodee, S., & Lacote, R. (2017). Performances of low frequency rubber tapping system with rainguard in high rainfall area in Myanmar. *Australian Journal of Crop Science*, 11(11), 1451–1456. doi:10.21475/ajcs.17.11.11.pne593.
- Zhang, H., Zhang, L., Ge, Y., Hua, Y., Lan, Z., & Huang, H. (2014). Short communication: climate and latex production of rubber tree Southeastern part of Hainan Province, China. *Journal of Rubber Research*, 17(4), 261–265.
- Zhou, Y., Van Leeuwen, S. K., Pieterse, C. M. J., Bakker, P. A. H. M., & Van Wees, S. C. M. (2019). Effect of atmospheric CO₂ on plant defense against leaf and root pathogens of *Arabidopsis*. *European Journal of Plant Pathology*, 154(1), 31–42. doi:10.1007/s10658-019-01706-1.
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Wang, M., Lang, R., Chen, H., Metzger, M. J., . . . Xu, J. (2014). Environmental stratification to model climate change impacts on biodiversity and rubber production in Xishuangbanna, Yunnan, China. *Biological Conservation*, 170, 264-273. doi:10.1016/j.biocon.2013.11.028.