



Impak perubahan iklim ke atas pertanian berdasarkan Model Simulasi Pertumbuhan Tanaman (CGS)

R.B. Radin Firdaus¹, Mohamad Shaharudin Samsurijan¹, Paramjit Singh Jamir Singh², Mohd Haizzan Yahaya², Abdul Rais Abdul Latiff³, Kumarashwaran Vadevelu⁴

¹Program Perancangan dan Pengurusan Pembangunan, Pusat Pengajian Sains Kemasyarakatan,
Universiti Sains Malaysia

²Program Kerja Sosial, Pusat Pengajian Sains Kemasyarakatan, Universiti Sains Malaysia

³Program Ekonomi, Pusat Pengajian Sains Kemasyarakatan, Universiti Sains Malaysia

⁴Social Work Section, Faculty of Humanities and Social Sciences, Prince of Songkla University, Thailand

Correspondence: R.B. Radin Firdaus (email: radin@usm.my)

Abstrak

Sektor pertanian merupakan antara sektor ekonomi yang terawal yang mendapat tumpuan meluas dalam kajian-kajian berkaitan impak perubahan iklim. Hal ini didorong oleh kemudahterancaman sektor pertanian terhadap perubahan iklim selain kepentingan sektor ini dalam menjamin kelangsungan kehidupan manusia. Perbincangan berkaitan magnitud impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian masih giat diperdebatkan sehingga ke hari ini. Sehingga kini, terdapat pelbagai kaedah dan model yang telah diaplikasikan bagi menilai impak perubahan iklim terhadap sektor pertanian di pelbagai negara. Antara model yang lazim digunakan oleh penyelidik ialah model simulasi pertumbuhan tanaman (CGS). Oleh yang demikian, matlamat kertas kerja ini adalah untuk meninjau impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian di seluruh dunia melalui sorotan literatur kajian lepas yang telah menggunakan model CGS. Secara keseluruhan, tinjauan ini menyimpulkan bahawa tanaman pertanian antara negara di seluruh dunia menunjukkan sensitiviti iklim yang berbeza-beza. Impak perubahan iklim dijangka menjejaskan hasil pengeluaran pertanian di negara sedang membangun dan berpendapatan rendah, terutamanya di negara yang berada di iklim tropika atau di latitud yang rendah. Memandangkan terdapatnya kesan heterogen perubahan iklim ke atas sektor pertanian, oleh itu amat penting sekali bagi setiap pengkaji yang ingin mengkaji perhubungan antara iklim dan pertanian pada masa hadapan untuk memberi tumpuan terhadap aspek geografi iklim.

Kata kunci: hasil pengeluaran, impak, model, pertanian, perubahan iklim, simulasi pertumbuhan tanaman

Impact of Climate Change on Agriculture Based on the Crop Growth Simulation (CGS) Model

Abstract

The agricultural sector is one of the earliest economic sectors that has received extensive focus from the climate change impact studies. This is fueled by the vulnerability of this sector to climatic variations, as well as its utmost connection with human survival. Discussion on the magnitude of the impact of climate change on the agricultural sector is still debatable until now as there are various methods and models that have been applied to assess the impact of climate change on the agricultural sector worldwide. The crop growth simulation (CGS) model is one of the models commonly used by researchers. Hence, this paper aims to review the impact of climate change on the agricultural sector based on the findings from the literature that used CGS as its simulation model. In general, this review reveals that the climate sensitivity of crops varies between countries. The impact of climate change is expected to affect agricultural production in both developing and low-income countries, especially countries located in low latitude or with a tropical climate. Given the heterogeneous effects of climatic variation on the agricultural sector, thus it is vital for future studies that intend to study the relation between agriculture and climate to focus on the aspects of climatic geography.

Keywords: agriculture, climate change, crop growth simulation, impact, model, yield

Pengenalan

Tahap sensitiviti iklim dunia masih terus dipersoalkan sehingga kini (Noorazuan, 2015). Begitu juga halnya dengan perbincangan berkaitan magnitud impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian. Justeru, tidak hairanlah apabila kajian berkaitan impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian telah mendapat perhatian yang meluas daripada para penyelidik dalam pelbagai disiplin ilmu. Terdapat pelbagai kaedah dan model yang telah diaplikasikan bagi menilai impak perubahan iklim terhadap sektor pertanian seperti yang dibincangkan dalam penulisan Mendelsohn (2000); Kurukulasuriya dan Rosenthal (2003); Iglesias (2006); Lobell dan Burke (2009); Maharjan dan Joshi (2013), Wenjiao et al. (2013); Ortiz-Bobea dan Just (2013); dan Nelson et al. (2014). Secara keseluruhannya, mengklasifikasikan model-model ini berdasarkan disiplin ilmu, antara model yang sering digunakan oleh penyelidik ialah model Simulasi Pertumbuhan Tanaman (*Crop Growth Simulation (CGS) model*), model Respons Hasil Tanaman (*Crop Yield Response model (CYR)*) dan model Ricardian. Selain mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing, setiap kaedah ini menonjolkan “pandangan dunia” (*views of the world*) yang berbeza-beza (Schlenker & Roberts, 2009; Hertel & Rosch, 2010).

Oleh itu, selain meninjau impak perubahan iklim terhadap sektor pertanian di pelbagai negara, kertas kerja ini ditulis untuk memberikan kefahaman mengenai kaedah CGS yang lazimnya digunakan oleh para penyelidik dalam menilai impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian. Umumnya, model CGS digunakan untuk menganalisis perubahan ke atas hasil pengeluaran satu-satu jenis tanaman tertentu. Berdasarkan kaedah ini, pengukuran terhadap tindak balas perilaku (*behavioural responses*) petani mengadaptasi dengan keadaan perubahan

iklim adalah terhad yang menyebabkan berlakunya masalah terlebih anggar kesan negatif perubahan iklim. Manakala, dalam model CYR dan Ricardian, penilaian impak iklim ke atas hasil pengeluaran tanaman atau keuntungan ladang dijalankan menggunakan kaedah statistik atau ekonometrik berasaskan pendekatan siri masa, keratan rentas atau panel. Walaupun kedua-dua model ini mampu mengambil kira tindak balas perilaku petani, namun kedua-duanya terbatas dalam menjelaskan perhubungan atau tindak balas dari sudut biologi dan fizikal tanaman.

Kajian lepas yang mengkaji impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian telah melaporkan dapatan daripada perspektif yang berbeza disebabkan spesifikasi dan input model yang berbeza-beza. Meninjau ringkasan literatur dalam kajian berkaitan impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian, secara keseluruhannya, Nelson et al. (2014) merumuskan bahawa telah berlakunya transisi dalam kerangka kajian daripada yang berbentuk agak optimis kepada yang lebih bersifat pesimis. Hal ini turut dibuktikan oleh kajian Lobell & Asseng (2017).

Justeru, matlamat kertas kerja ini adalah untuk meninjau impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian di seluruh dunia melalui sorotan literatur. Kajian lepas yang disorot adalah kajian yang menggunakan model CGS.

Kajian literatur

Sektor pertanian merupakan antara sektor ekonomi terawal yang mendapat tumpuan meluas dalam kajian berkaitan penilaian impak perubahan iklim. Hal ini didorong oleh kemudahterancaman sektor pertanian terhadap perubahan iklim selain peranan penting sektor ini dalam menjamin kelangsungan penghidupan manusia. Antara kajian-kajian awal yang terkemuka ialah Rosenzweig (1989), Adams et al. (1990), Kaufmann dan Snell (1997) yang rata-ratanya menumpukan kepada sektor pertanian di Amerika Syarikat dengan fokus khusus diberikan kepada tanaman konvensional di Amerika seperti jagung, gandum dan kacang soya. Kaedah penganggaran dilakukan menggunakan model CGS tertentu (*calibrated*) yang direka bentuk berdasarkan sistem algoritma. Jadual 1 menyenaraikan antara model-model utama CGS yang telah dibangunkan oleh para penyelidik.

Jadual 1. Senarai model Simulasi Pertumbuhan Tanaman

Tanaman	Model	Rujukan/Pengasas
Alfalfa	ALFALFA	Denison dan Loomis (1989)
	ALF2LP	Bourgeois (1990)
Barli	CERES-Barli	Otter-Nacke et al. (1991)
Milet	CERES-Milet	Ritchie dan Alagarwamy (1989)
	RESCAP (<i>Resource Capture</i>)	Monteith et al. (1989)
Gandum	CERES-Gandum	Ritchie dan Otter (1985);
	TAMW (<i>Texas A&M Wheat</i>)	Maas dan Arkin (1980)
Padi	CERES-Padi	Ritchie et al. (1987)
	RICEMOD	McMennamy dan O'Toole (1983)
	ORYZA	Kropff et al. (1994)
	SIMRIW	Horie et al. (1995)
Jagung	CERES-Jagung	Jones dan Kiniry (1986)
	CORNF	Stapper dan Arkin (1980)
	CORNMOD	Baker dan Horrocks (1976)
	TROIKA	Lambert dan Reicosky (1984)
Sorgum	CERES-Sorgum	Alagarwamy dan Ritchie (1991)

	SORGF	Maas dan Arkin (1978)
Kecacang	BEANGRO	Hoogenboom et al. (1991)
Kapas	GOSSYM	Baker et al. (1983)
Kacang tanah	PNUTGRO	Boote et al. (1986)
Ubi kentang	SUBSTOR-Ubi kentang	Ritchie et al. (1995)
Kacang soya	SOYGRO	Wilkerson et al. (1983)
	SOYMOD	Curry et al (1975)
<i>Model lain</i>		
Air pengairan	CropWat (<i>Water irrigation for crops</i>)	<i>Land and Water Development Division of the FAO</i>
Generik	APSIM (<i>Agricultural Production Systems Simulator</i>)	McCown et al. (1996)
Generik	STICS (<i>Simulateur Multidisciplinaire pour les Cultures Standard</i>)	Brisson et al. (1998)
Skala besar	GEPIC (<i>Geographic Information System (GIS) of Environmental Policy Integrated Climate</i>)	Liu et al. (2007)
Dinamik	DSSAT (<i>Decision Support System for Agrotechnology Transfer</i>)	IBSNAT (<i>International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer</i>) & ICASA (<i>International Consortium for Agricultural Systems Applications</i>)

Ciri-ciri model Simulasi Pertumbuhan Tanaman

Model CGS merupakan sebuah model berasaskan proses (*process-based model*) atau simulasi eksperimen yang mengambil kira aspek perhubungan biologi dan fizikal antara faktor persekitaran yang berbeza-beza dengan pengeluaran pertanian dalam menilai impak iklim. Oleh itu, model ini terkenal dengan kemampuannya dalam meramal kesan cuaca ke atas proses biofizikal pertumbuhan tanaman dengan jelas. Kebanyakan model ini dibentuk berasaskan ciri-ciri biofizikal kultivar setempat serta beberapa pemboleh ubah alam sekitar yang memberi kesan langsung kepada pertumbuhan kultivar tersebut. Antara pemboleh ubah tersebut meliputi faktor iklim, tanah, nutrien dan pengurusan seperti pembajaan. Oleh kerana model ini memberi penekanan kepada interaksi berbentuk setempat, maka kesahan luaran (*external validity*) model ini adalah terhad (Ward et al., 2014). Selain itu, model CGS memerlukan bilangan parameter yang ekstensif dan terperinci yang menuntut pengurusan data yang sistematik bagi menghasilkan analisis yang terbaik antaranya seperti data iklim berbentuk harian, ciri-ciri tanah serta definisi yang jelas berkaitan sistem pengurusan tanaman.

Secara amnya, dalam model CGS, kawalan terhadap sifat kesan cuaca (walaupun berdasarkan prinsip agronomi) secara tidak langsung menafikan tindak balas perilaku manusia terhadap cuaca (Schlenker & Roberts, 2006). Menurut Roudier et al. (2011), model CGS boleh dianggap homogen kerana lazimnya model ini diaplikasikan pada skala plot berdasarkan lokasi data. Oleh kerana model CGS direka untuk diaplikasikan pada skala plot, model ini memerlukan data berkaitan iklim pada skala ruang kecil. Justeru, data berkaitan iklim yang lazimnya dijana melalui model iklim, antaranya model Edaran Umum (*General Circulation model/ GCM*) perlu dikecilkan (*downscale*) selari dengan skala model CGS dan pengecilan (*downscaling*) ini membawa kepada penskalaan yang tidak konsisten (Roudier et al., 2011).

Model yang lebih terkini antaranya DSSAT merupakan model yang telah dibangunkan oleh rangkaian saintis antarabangsa melalui satu kerjasama di bawah projek *International Benchmark*

Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT). Matlamatnya adalah untuk menjadikan penggunaan model CGS lebih serasi (*compatible*) dalam penyelidikan agronomi (Jones et al., 2003). DSSAT merupakan sistem sokongan keputusan yang terdiri daripada pelbagai model CGS mewakili 28 jenis tanaman yang berbeza-beza. Ianya merupakan perisian yang menjalankan simulasi tindak balas tanaman ke atas faktor iklim, tanah serta pengurusan berkaitan pengeluaran. DSSAT telah digunakan secara meluas untuk menilai kesan iklim ke atas kawasan pertanian pada skala yang berbeza-beza iaitu dari tapak kawasan kecil sehingga ke kawasan geografi yang luas. Manakala pemodelan Tanaman Generik (*generic crop modeling*) seperti APSIM dan STICS pula tergolong dalam kumpulan model umum dengan parameter tertentu untuk tanaman seperti gandum dan jagung. Berbeza dengan model generik, CROPWAT merupakan sebuah model empirikal khusus untuk pengurusan pengairan yang berperanan untuk menentukan jumlah keperluan air untuk pengairan tanaman berdasarkan data iklim dan tanaman.

Terkini, pembangunan model CGS yang berskala besar telah dibangunkan yang lebih berorientasikan perubahan iklim. Model seperti ini tidak memerlukan sebarang pelarasan terhadap ciri-ciri regional yang boleh mengakibatkan dapatan simulasi model yang kurang tepat. Model GEPIC, yang terdiri daripada gabungan EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*) dengan GIS (*Geographic Information System*), telah berjaya meluaskan aplikasi EPIC dalam skala yang lebih besar melibatkan pelbagai sistem pertanian. Model EPIC (Williams et al., 1989; Sharpley & Williams, 1990) pada asalnya hanya boleh diaplikasikan sekiranya melibatkan unit-unit pertanian yang sama. Dalam kajian Rosenzweig et al. (2014) yang menilai impak perubahan iklim ke atas hasil pengeluaran pertanian di seluruh dunia, kajian ini telah menggunakan tujuh model CGS berskala besar yang antaranya ialah GEPIC.

Metod kajian

Matlamat kertas kerja ini adalah untuk meninjau impak perubahan iklim ke atas sektor pertanian di seluruh dunia. Secara amnya, kertas kerja ini menggunakan kaedah sorotan literatur. Enjin carian seperti *Google Scholar* dan *Scopus* telah digunakan. Skop carian pula meliputi kajian-kajian yang telah dijalankan dari tahun 2007 hingga 2018. Antara kata kunci yang digunakan bagi mendapatkan data kajian ini ialah “*Crop Growth Simulation model*”, “*climate change*” dan “*agriculture*”.

Hasil kajian dan perbincangan

Impak perubahan iklim terhadap sektor pertanian berdasarkan analisis model Simulasi Pertumbuhan Tanaman

Model CGS telah digunakan secara meluas oleh penyelidik untuk mengunjurkan pengeluaran hasil tanaman, khususnya yang berkaitan dengan perubahan iklim. Walau bagaimanapun, kesan ini adalah berbeza-beza berdasarkan kawasan atau cerapan (*observation*) lapangan dan jenis model yang dipilih penyelidik. Justeru, dapatan yang diperoleh berkemungkinan berbeza-beza disebabkan perbezaan dalam pemilihan senario melalui GCM, tempoh masa, varieti tanaman, skala pemodelan, pengesetan eksperimen, input data seperti ciri-ciri tanah dan juga sama ada model tersebut mengambil kira kesan pembajaan karbon dioksida (CO₂). Oleh itu, sukar untuk

membandingkan setiap dapatan dalam kajian berkaitan perubahan iklim dan impak pertanian ini secara langsung (Challinor et al., 2007; Rosenzweig et al., 2014). Namun, perbezaan dapatan yang dibentangkan dalam setiap kajian secara tidak langsung telah memberikan gambaran yang komprehensif serta pengetahuan yang konstruktif dalam usaha untuk memahami pelbagai kesan kemungkinan akibat berlakunya perubahan iklim, khususnya ke atas sektor pertanian.

Kajian yang dilakukan oleh Kim et al. (2013) mendapati bahawa impak perubahan iklim ke atas hasil padi di Korea bergantung kepada faktor latitud. Bagi kawasan yang terletak dalam lingkungan latitud 34° hingga 42° , kesan negatif akibat peningkatan suhu akan diimbangi sebahagiannya oleh kesan pembajaan CO_2 . Manakala peningkatan suhu (walaupun dengan kesan pembajaan CO_2 yang minimal) di kawasan yang berada di latitud yang lebih tinggi, iaitu lebih daripada 42° , membawa kesan positif kepada hasil pengeluaran di kawasan tersebut. Manakala di Jepun, kemerosotan dalam hasil padi dijangka berlaku semasa musim panas dingin, iaitu ketika jumlah sinaran matahari adalah terhad (Iizumi et al., 2011). Oleh itu, dengan keadaan iklim yang lebih panas, hasil di padi Jepun dijangka meningkat. Namun tidak seperti Kim et al. (2013), Iizumi et al. (2011) tidak memodelkan faktor hujan dalam model kajian mereka. Ringkasnya, dapatan daripada kedua-dua kajian ini menandakan bahawa hasil padi di kawasan beriklim sederhana di Asia cenderung untuk mengalami kesan positif akibat perubahan iklim pada masa hadapan.

Peningkatan suhu juga dijangka tidak akan mengancam hasil alfalfa di Perancis (Ruget et al., 2008) dan barli di Itali (Tuttolomondo et al., 2009). Hal ini kerana, di kedua-dua kawasan beriklim sederhana ini, faktor kekangan air memberi kesan yang lebih signifikan berbanding faktor pemanasan. Kesan yang sebaliknya pula ditunjukkan dalam hasil kajian oleh Özdoğan et al. (2011) di Turki, Ruane et al. (2014) di Amerika Syarikat serta Tao dan Zhang (2011) di China. Hal ini berlaku kerana varieti gandum yang dikaji oleh Özdoğan et al. (2014) hanya meliputi jenis gandum musim sejuk (*winter wheat*), yang sememangnya sensitif kepada keadaan panas dan kering. Manakala, kajian yang dijalankan oleh Ruane et al. (2014) pula melihat impak perubahan iklim terhadap tanaman kacang tanah tadah hujan (*rain-fed peanut*) di kawasan Henry, Alabama, yang merupakan antara kawasan terpanas di Amerika Syarikat.

Tidak seperti padi yang diklasifikasikan sebagai tanaman C3, bagi tanaman C4 seperti jagung, peningkatan suhu dijangka mendatangkan impak negatif, misalnya tanaman jagung di kawasan sejuk di China (Tao & Zhang, 2011). Hal ini disebabkan oleh tindak balas perlahan tanaman C4 terhadap kesan fisiologi CO_2 berbanding tanaman C3. Selain itu juga, senario perubahan iklim yang digunakan dalam analisis simulasi Kim et al. (2013), Iizumi et al. (2011) dan Ruget et al. (2008) diunjurkan dalam bentuk julat, manakala senario perubahan iklim dalam kajian Tao dan Zhang (2011) adalah berdasarkan nilai median. Perbezaan unjuran senario perubahan iklim oleh model-model yang berbeza dalam model Edaran Umum (GCM) itu sendiri menyebabkan wujudnya perbezaan dalam dapatan simulasi model CGS. Dapatan kajian G rardeaux et al. (2013) juga mendedahkan bahawa ketidakpastian dalam unjuran hasil pertanian adalah berpunca daripada model iklim dan bukannya disebabkan oleh model analisis yang digunakan

Kebanyakan tanaman C4 di kawasan iklim tropika seperti millet di Niger (Rezaei et al., 2014), sorgum di Ghana (MacCarthy & Vlek, 2012), India dan Mali (Piarra-Singh, 2014) dan jagung di Brazil (Justino et al., 2013) dan timur Afrika (Thornton et al., 2010) menunjukkan kesan negatif yang signifikan akibat perubahan iklim. Manakala impak perubahan iklim di Panama (Ruane et al., 2013) dan Afrika Selatan (Estes et al., 2013) dijangka meningkatkan sedikit hasil jagung. Secara amnya, iklim yang semakin panas akan memendekkan kitaran

fenologi tanaman. Kitaran hidup tanaman yang singkat menjadi antara punca utama yang menyebabkan kemerosotan hasil pengeluaran tanaman di negara-negara seperti Niger, Ghana, India, Mali dan Brazil.

Sebaliknya, di Panama, tempoh kematangan jagung yang menjadi semakin singkat akibat perubahan iklim dijangka membantu petani meningkatkan hasil pengeluaran tanaman (Ruane et al., 2013). Menurut Ruane et al. (2013), tempoh kematangan yang singkat menyebabkan tempoh pengisian butiran (*grain filling*) lengkap sebelum krisis himpitan air (*water stress*) yang sering berlaku pada akhir musim penanaman bermula. Manakala di Afrika Selatan, sama seperti Tao & Zhang (2011), Estes et al. (2013) mendapati bahawa kesan positif yang diramalkan berkemungkinan disebabkan penggunaan nilai median daripada sembilan GCM yang berbeza-beza. Model-model ini rata-ratanya mengunjurkan perubahan hujan yang malar atau sederhana di seluruh Afrika Selatan.

Hasil pengeluaran tanaman C3, misalnya gandum di Iran (Bannayan et al., 2014), kacang soya di Brazil (Justino et al., 2013), kentang di Peru (Sanabria & Lhomme, 2013), padi di Indonesia (Candradijaya et al., 2014) dan Malaysia (Vaghefi et al., 2011) dijangka terjejas akibat perubahan iklim. Hanya penanaman kapas di Cameroon yang menunjukkan kesan positif (Gérardeaux et al., 2013). Menurut Gérardeaux et al. (2013), kesan positif perubahan iklim terhadap hasil pengeluaran tanaman adalah di luar jangkaan dan berkemungkinan disebabkan oleh RegCM yang digunakan untuk mengunjurkan senario iklim hanya meramalkan perubahan yang konsisten pada suhu tetapi tidak pada pemboleh ubah iklim seperti hujan, radiasi solar dan penyejatpeluhan (*evapotranspiration*). Justeru, Gérardeaux et al. (2013) yakin bahawa ketidakpastian dalam unjuran hasil pengeluaran pertanian adalah berpunca daripada model iklim dan bukannya disebabkan oleh model analisis yang digunakan.

Kajian oleh Vaghefi et al. (2011) menggunakan model ORYZA2000 untuk mensimulasikan hasil padi di lahan kawasan jelapang padi di Malaysia dari tahun 1999 hingga 2007. Dua senario telah digunakan iaitu yang pertama, suhu dijangka meningkat 2°C dengan CO₂ kekal pada tahap yang sedia ada (383 ppm), manakala di bawah senario kedua, suhu diramalkan meningkat sebanyak 2°C dan kepekatan CO₂ turut meningkat pada kadar 1.5 peratus. Keputusan simulasi berdasarkan senario pertama menunjukkan hasil padi dijangka berkurangan sebanyak 0.359 mt/ha, dengan anggaran purata kerugian dalam ekonomi sebanyak RM162.531 juta setahun. Manakala keputusan simulasi berdasarkan senario kedua, menjangkakan penurunan hasil sebanyak 0.689 mt/ha dengan nilai kerugian sebanyak RM299.145 juta setahun. Menurut Vaghefi et al. (2011), kemerosotan hasil adalah disebabkan kesan pemanasan yang melewati pembungaan dan seterusnya memberi kesan kepada *photoperiod-sensitive* dan *photoperiod-incentive* untuk kultivar. Walaupun peningkatan kepekatan CO₂ dalam udara boleh meningkatkan produktiviti tanaman, namun peningkatan ini tidak dapat mengimbangi kesan kemerosotan akibat peningkatan serentak suhu. Justeru, antara langkah adaptasi yang dicadangkan dalam kajian ini termasuklah memperkenalkan varieti padi dengan kesuburan spikelet bertoleransi tinggi (*high tolerance of spikelet fertility*) terhadap suhu. Kajian di benua Afrika yang menggunakan model ORYZA2000, turut menjangkakan kesan negatif sekiranya varieti padi dengan kesuburan spikelet bertoleransi tinggi terhadap suhu tidak diperkenalkan di Afrika (Oort & Zwart, 2018).

Manakala di timur laut Thailand, walaupun perubahan iklim dijangka memberi kesan yang positif terhadap varieti padi yang digunakan pada musim kering namun bagi varieti yang ditanam pada musim lembap, kenaikan suhu maksimum dan minimum dijangka membawa kesan negatif terhadap hasil (Shrestha et al., 2017). Kesan yang sama turut dijangkakan di Vietnam. Kajian

Shrestha et al. (2016) mendapati bahawa perubahan iklim akan memberi kesan negatif terhadap penanaman padi ketika musim lembap.

Disebabkan perubahan iklim mengubah jangka masa pertumbuhan tanaman akibat perubahan dalam suhu dan hujan, untuk mengatasi masalah ini, kajian oleh Piarra-Singh (2014) menekankan kepentingan genetik tanaman baru yang dapat mengadaptasi tempoh kematangan dengan jangka masa pertumbuhan yang semakin singkat. Hal ini penting untuk mengurangkan himpitan air dan haba terhadap tanaman semasa kitaran hayat tanaman bagi memaksimumkan hasil pengeluaran tanaman semusim. Kajian ini turut mendedahkan bahawa kitaran kultivar yang panjang dapat membantu tanaman meningkatkan hasil pengeluaran tanaman.

Hal yang sama ditekankan oleh Gérardeaux et al. (2013) yang menyarankan modifikasi fenologi terhadap kultivar masa hadapan melalui perlanjutan permulaan pembungaan serta melanjutkan tempoh pengisian butiran untuk melambatkan kematangan tanaman. Lebih lewat pembungaan bermula, akan lebih banyak jumlah biomassa vegetatif yang kemudiannya boleh ditukar menjadi organ-organ reproduktif. Di samping itu, Gérardeaux et al. (2013) juga menekankan kepentingan pilihan sistem penanaman, contohnya pemugaran (*tillage*) dan pemuliharaan sistem pertanian untuk memastikan kebolehsesuaian tanaman akibat impak perubahan iklim. Manakala di Iran, kajian Bannayan et al. (2014) mendapati bahawa pembangunan bioteknologi melalui penciptaan varieti berketahanan tinggi terhadap himpitan biotik dan abiotik di samping pengurusan perosak yang baik dapat mengurangkan impak perubahan iklim.

Impak perubahan iklim terhadap sektor pertanian berdasarkan analisis model CGS skala global

Kajian oleh Rosenzweig et al. (2014) mencuba menilai impak perubahan iklim ke atas pelbagai jenis tanaman di seluruh dunia. Keputusan bagi tanaman jagung dan gandum menunjukkan kesan positif di kawasan latitud tinggi dan negatif di kawasan latitud rendah dengan dapatan yang konsisten dalam kesemua model kajian. Bagi beras dan kacang soya, dapatan yang konsisten dalam kesemua model ditunjukkan di kawasan latitud pertengahan dan latitud tinggi dengan hasil pengeluaran dijangka meningkat. Manakala di kawasan tropika, jangkaan penurunan hasil beras dan kacang soya menunjukkan keputusan yang tidak konsisten antara model-model. Ketidakpastian ini adalah lebih tinggi bagi kacang soya dan beras berbanding jagung dan gandum, kerana tanaman ini berada di kawasan pengeluaran berkepadatan tinggi dan ini menjadikannya lebih sensitif terhadap perbezaan regional dalam unjuran GCM. Secara keseluruhannya, hasil kajian Rosenzweig et al. (2014) menunjukkan bahawa impak perubahan iklim ke atas tanah pertanian di kawasan tropika adalah lebih mengancam berbanding impak di kawasan latitud pertengahan dan tinggi. Namun di jalur latitud yang lebih luas di kawasan latitud pertengahan dan tinggi, terdapat variasi yang ketara iaitu hasil tanaman bertindak balas secara berbeza-beza (positif atau negatif), terutamanya dengan perubahan suhu di peringkat yang lebih ekstrem (yang juga dikaitkan dengan tahap CO₂ yang lebih tinggi).

Secara keseluruhannya, dapatan daripada kajian yang menggunakan model CGS menunjukkan bahawa hasil tanaman adalah sangat sensitif kepada perubahan iklim. Pengeluaran tanaman tadah hujan di kawasan latitud pertengahan dan tinggi yang mengalami peningkatan suhu rendah hingga sederhana (1 hingga 3°C) dengan peningkatan CO₂ dan perubahan hujan dijangka mencatatkan sedikit peningkatan dalam hasil pengeluaran. Manakala di kawasan latitud rendah, kenaikan suhu walaupun sederhana (1 hingga 2°C) didapati memberi impak negatif terhadap beberapa jenis hasil bijirin utama. Hal ini kerana, di kawasan pertanian beriklim

tropika, suhu di kawasan tersebut sudah menghampiri kepada ambang (threshold) suhu tinggi yang sesuai dengan pengeluaran bijirin. Tambahan pula, peningkatan suhu di kawasan tropika menyebabkan kadar sejatan yang tinggi berlaku dan seterusnya mendedahkan tanaman kepada himpitan air.

Kesimpulan

Tinjauan kajian lepas berdasarkan model CGS mendapati bahawa sensitiviti iklim sektor pertanian berbeza antara negara di seluruh dunia, seperti mana juga perubahan dalam hasil fizikal pengeluaran tanaman itu sendiri. Memandangkan terdapatnya kesan heterogen perubahan iklim ke atas pertanian, oleh itu, penting bagi setiap kajian yang mengkaji perhubungan antara iklim dan pertanian untuk memberi tumpuan khususnya dari aspek geografi iklim. Di samping itu, memodelkan tindak balas penyesuaian manusia juga harus menjadi antara pertimbangan kritikal penyelidik dalam usaha untuk menghasilkan analisis yang jitu.

Perubahan iklim di sebahagian negara dijangka memberi impak positif terhadap hasil pengeluaran sektor pertanian utama di negara tersebut. Namun sektor pertanian utama di kebanyakan negara lain juga dijangka bakal berhadapan dengan kesukaran. Kebanyakan kajian menunjukkan bahawa impak perubahan iklim dijangka menjejaskan pengeluaran pertanian di negara-negara membangun dan berpendapatan rendah, terutamanya di negara-negara yang berada di iklim tropika atau di latitud yang rendah. Namun, pelbagai kajian turut menunjukkan bahawa terdapatnya pelbagai strategi adaptasi yang jika dilaksanakan dengan segera oleh pihak yang berkepentingan mampu membuka peluang untuk petani dan pertanian menyesuaikan dengan perubahan yang berlaku. Walaupun sebahagian besar langkah adaptasi terarah ke atas tindak balas petani di peringkat ladang, namun sokongan dan galakan melalui dasar yang berkaitan pertanian mampu mempercepatkan dan memperluaskan lagi penerimaan terhadap sebarang pelan tindakan yang diketengahkan. Antaranya penyelidikan dalam pertanian untuk mewujudkan sinergi ke atas tindak balas petani terutamanya di negara-negara dengan tahap pendidikan petani luar bandar yang rendah.

Penghargaan

Kajian ini telah dibiayai sepenuhnya oleh Geran Universiti Penyelidikan (RUI) Tahun 2018 (1001/PSOSIAL/8016055), Universiti Sains Malaysia.

Rujukan

- Adams, R.M., Rosenzweig, C., Peart, R. M., Ritchie, J.T., McCarl, B.A., Glycer, J.D., Curry, R.B., Jones, J.W., Boote, K.J., & Allen Jr, J.H. (1990). Global climate change and U.S. agriculture. *Nature*, 345(6272), 219-224.
- Alagarswamy, G., & Ritchie, J.T. (1991). Phasic development in CERES-Sorghum model. In: Hodges, T. (Eds.). *Predicting Crop Phenology* (pp. 143-152). Boca Raton, CRC Press.
- Baker, C.H., & Harrocks, R.D. (1976). CORNMOD: A dynamic simulator of corn production. *Agricultural Systems*, 4, 57-77.

- Baker, D.N., Lambert, J.R., & McKinion, J.M. (1983). GOSSYM: A simulator of cotton crop growth and yield. *Technical Bulletin South Carolina Agricultural Experiment Station, No. 1089*. South Carolina, Clemson University.
- Bannayan, M., Mansoori, H., & Rezaei, E.E. (2014). Estimating climate change, CO₂ and technology development effects on wheat yield in northeast Iran. *International Journal of Biometeorology*, 58, 395-405.
- Boote, K.J., Jones, J.W., Mishoe, J.W., & Wilkerson, G. G. (1986). Modeling growth and yield of groundnut. In. Sivakumar, M.V.K., Virmani, S.M., & Beckerman, S.R. (Eds.). *Agrometeorology of Groundnut. Proceedings of an International Symposium, 21-26 August 1985*, pp. 243-254.
- Bourgeois, G. (1990). Evaluation of an alfalfa growth simulation model under Quebec conditions. *Agricultural Systems*, 32, 1-12.
- Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D. (1998). STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomy for Sustainable Development*, 18, 311-346.
- Candradijaya, A., Kusmana, C., Syaikat, Y., Syaufina, L., & Faqih, A. (2014). Climate change impact on rice yield and adaptation response of local farmers in Sumedang District, West Java, Indonesia. *International Journal of Ecosystem*, 4(5), 212-223.
- Challinor, A., Wheeler, T., Garforth, C., Craufurd, P., & Kassam, A. (2007). Assessing the vulnerability of food crop systems in Africa to climate change. *Climatic Change*, 83, 381-399.
- Curry, R.B., Baker, C.H., & Streeter, J.G. (1975). SOYMOD I: A dynamic simulator of soybean growth and development. *Transaction of the ASAE*, 18, 963-968.
- Denison, R.F., & Loomis, R.S. (1989). An integrative physiological model of alfalfa growth and development. *Publication No. 1926. Oakland, Division Agricultural Natural Research, University of California*.
- Estes, L.D., Beukes, H., Bradley, B.A., Debats, S.R., Oppenheimer, M., Ruane, A.C., Schulze, R., & Tadross, M. (2013). Projected climate impacts to South African maize and wheat production in 2055: A comparison of empirical and mechanistic modeling approaches. *Global Change Biology*, 19(12), 3762-3774.
- Gérardeaux, E., Sultan, B., Palaï, O., Guiziou, C., Oettli, P., & Naudin, K. (2013). Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO₂ enrichment and conservation agriculture in Cameroon. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(3), 485-495.
- Hertel, T.W., & Rosch, S.D. (2010). Climate change, agriculture, and poverty. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 32, 355-385.
- Hoogenboom, G., White, J.W., Jones, J. W., & Boote, K.J. (1991). BEANGRO V1.01: Dry bean crop growth simulation model: User's guide. Florida Agricultural Experiment Station Journal No. N-00379. Florida, University of Florida.
- Horie, T., Nakagawa, H., Centeno, H.G.S., & Kropff, M.J. (1995). The rice crop simulation model SIMRIW and its testing. In. Matthews, R.B., Kropff, M.J. & Bachelet, D. (Eds.). *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia* (pp. 51-66). Wallingford, CAB International.
- Iglesias, A. (2006). *Climate change and agriculture*. CGE Hands-on Training Workshop on V&A Assessment of the Asia and the Pacific Region. Jakarta, 20-24 Mac.
- Iizumi, T., Yokozawa, M., & Nishimori, M. (2011). Probabilistic evaluation of climate change impacts on paddy rice productivity in Japan. *Climatic Change*, 107, 391-415.

- Jones, C.A., & Kiniry, J.R. (1986). *CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas, A&M University Press.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., & Ritchie J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265.
- Justino, F., Oliveira, E.C., & Rodrigues, R.D.A. (2013). Mean and interannual variability of maize and soybean in Brazil under global warming conditions. *American Journal of Climate Change*, 2, 237-253.
- Kaufmann, R.K., & Snell, S.E. (1997). A biophysical model of corn yield: Integrating climatic and social determinants. *American Journal of Agriculture Economics*, 79(1), 178-190.
- Kim, H-Y., Ko, J., Kang, S., & Tenhunen, J. (2013). Impacts of climate change on paddy rice yield in a temperate climate. *Global Change Biology*, 19, 548-562.
- Kropff, M.J., van Laar, H.H., Matthews, R.B., Goudriaan, J., & Ten Berge, H.F.M. (1994). Description of the model ORYZA1. In. Kropff, M.J., van Laar, H.H., & Matthews, R.B. (Eds.). *ORYZA1: An Ecophysiological model for irrigated rice production. SARP Research Proceedings* (pp. 5-41).
- Kurukulasuriya, P., & Rosenthal, S. (2003). Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations. *Climate Change Series Paper 91*. Washington D.C, Environmental Department, World Bank.
- Lambert, J.R., & Reicosky, D.C. (1984). Dynamics of water in *Zea mays* L.: Sensitivity analysis of TROIKA. *Transactions of the ASAE*, 27, 117-124.
- Liu, J., Williams, J.R., Zehnder, A.J.B., & Yang, H. (2007). GEPIC: Modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agricultural Systems*, 94, 478-493.
- Lobell, D.B., & Asseng, S. (2017). Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models. *Environmental Research Letters*, 12, 1-12.
- Lobell, D.B., & Burke, M.B. (pnyt.). (2009). Climate change and food Security: Adapting agriculture to a warmer world. *Advances in Global Change Research*, 37. New York, Springer.
- Maas, S.J., & Arkin, G.F. (1980). *TAMW: A wheat growth and development simulation model*. Research Center Program and Model Documentation No. 80-3. Texas, Texas Agricultural Experiment Station.
- Maas, S.J., & Arkin, G.F. (1978). User Guide to SORFG: A dynamic grain sorghum growth model with feedback capacity. *Research Center Program and Model Documentation No. 78-1*. Texas, Texas Agricultural Experiment Station.
- MacCarthy, D.S., & Vlek, P.L.G. (2012). Impact of climate change on sorghum production under different nutrient and crop residue management in semi-arid region of Ghana: A modeling perspective. *African Crop Science Journal*, 20(2), 243-259.
- Maharjan, K.L., & Joshi, N.P. (2013). *Climate change, agriculture and rural livelihoods in developing countries*. Advances in Asian Human-Environmental Research. London, Springer.
- McCown, R.L., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G., Holzworth, D.P., & Freebairn, D.M. (1996). APSIM: A novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural Systems*, 50, 255-271.
- McMennamy, J.A., & O'Toole, J.C. (1983). RICEMOD: A physiologically based rice growth and yield model. *IRRI Research Paper 87*. Los Baños: International Rice Research Institute.

- Mendelsohn, R. (2000). Measuring the effect of climate change on developing country agriculture. In. FAO (Eds.). *Two essays on climate change and agriculture: A developing country perspective* (pp. 1-28). FAO Economic and Social Development Paper 145. Rome, FAO.
- Monteith, J.L., Huda, A.K.S., & Midya, D. (1989). RESCAP: A resource capture model for sorghum and pearl millet. In. Virmani, S.M., Tandon, H.L.S., & Alagarswamy, G. (Eds.). *Modeling the growth and development of sorghum and pearl millet* (pp. 30-34). Research Bulletin No. 12. Andhra Pradesh, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Nelson, G.C., van der Mensbrugghe, D., & Ahammad, H. (2014). Agriculture and climate change in global scenarios: Why don't the models agree. *Agricultural Economics*, 45(1), 85-101.
- Noorazuan Md Hashim. (2015). Kecelaruhan iklim global: Satu analisis awal. *Geografia Malaysian Journal of Society and Space*, 11(11), 24-35.
- Oort, P.A.J., & Zwart, S.J. (2018). Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield change. *Global Change Biology*, 24, 1029-1045.
- Ortiz-Bobea, A., & Just, R.E. (2013). Modeling the structure of adaptation in climate change impact assessment. *American Journal of Agriculture Economics*, 95(2), 244-251.
- Otter-Nacke, S.J., Ritchie, J.T., Godwin, D., & Singh, U. (1991). *A user's guide to CERES barley-V2.10*. Alabama, International Fertilizer Development Centre.
- Özdoğan, M. (2011). Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141, 1-12.
- Piarra-Singh, Nedumaran, S., Traore, P.C.S., Boote, K.J., Rattunde, H.F.W., Prasad, P.V., Singh, N.P., Srinivas, K., & Bantilan, M.C.S. (2014). Quantifying potential benefits of drought and heat tolerance in rainy season sorghum for adapting to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 185, 37-48.
- Rezaei, E.E., Gaiser, T., Siebert, S., Sultan, B., & Ewerta, F. (2014). Combined impacts of climate and nutrient fertilization on yields of pearl millet in Niger. *European Journal of Agronomy*, 55, 77-88.
- Ritchie, J.T., & Alagarswamy, G. (1989). Simulation of sorghum and pearl millet phenology. In. Virmani, S.M., Tandon, H.L.S., & Alagarswamy, G. (Eds.). *Modeling the growth and development of sorghum and pearl millet* (pp. 24-26). Research Bulletin No. 12. Andhra Pradesh, ICRISAT.
- Ritchie, J.T., Alocilja, E.C., Singh, U., & Uehara, G. (1987). IBSNAT and the CERES-rice model. In. IRRI (Eds.). *Weather and Rice. Proceedings of the International Workshop on the Impact of Weather Parameters on Growth and Yield of Rice, 7-10 April 1986*, (pp. 271-281).
- Ritchie, J.T., Griffin, T.S., & Johnson, B.S. (1995). SUBSTOR: Functional model of potato growth, development, and yield. In. Kabat, B., Marshall, B. J., van den Broek, J.V., & van Keulen, H. (Eds.). *Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System: A Comparison of Potato Growth Models* (pp. 401-434). Wageningen, Wageningen Press.
- Ritchie, J.T., & Otter, S. (1985). Description and performance of CERES-wheat: A user-oriented wheat yield mode. In. Wilis, W.O. (Eds.). *ARS Wheat Yield Project*, 38, 159-175. Washington D.C, Agricultural Research Service, USDA.
- Rosenzweig, C. (1989). Potential effects of climate change on agricultural production. In. Smith, J.B., & Tripak, D. (Eds.). *The Potential Effects of Global Climate Change on the United*

- States. Washington D.C, U.S Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation.
- Rosenzweig, C., Elliott, J., & Deryng, D. et al. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3268-3273.
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Berg, A. (2011). The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21, 1073-1083.
- Ruane, A.C., Mcdermid, S., Rosenzweig, C., Baigorria, G.A., Jones, J.W., Romero, C.C., & Cecil, L.D. (2014). Carbon–Temperature–Water change analysis for peanut production under climate change: A prototype for the AgMIP Coordinated Climate-Crop Modeling Project (C3MP). *Global Change Biology*, 20, 394-407.
- Ruane, A.C., Cecil, L.D., Horton, R.M., Gordón, R., McCollum, R., Brown, D., Killough, B., Goldberg, R., Greeley A.P., & Rosenzweig, C. (2013). Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest*, 170, 132-145.
- Ruget, F., Abdessemed, A., & Moreau J.C. (2008). Impact of global climate change scenarios on alfalfa production in France. *Grassland Science in Europe*, 13, 745-747.
- Sanabria, J., & Lhomme, J.P. (2013). Climate change and potato cropping in the Peruvian Altiplano. *Theoretical and Applied Climatology*, 112, 683-695.
- Schlenker, W. & Roberts, M.J. (2006). Nonlinear effects of weather on corn yields. *Review of Agricultural Economics*, 28(3), 391-398.
- Schlenker, W., & Roberts, M.J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(37), 15594-15598.
- Sharpley, A.N. & Williams, J.R. (1990). EPIC – Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. Technical Bulletin No. 1768. Washington D.C, Agricultural Research Service, USDA.
- Shrestha, S., Deb, T., & Bui, T.T.T. (2016). Adaptation strategies for rice cultivation under climate change in Central Vietnam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21, 15-37.
- Shrestha, S., Chapagain, R., & Babel, M.S. (2017). Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand. *Science of the Total Environment*, 599-600, 689-699.
- Stapper, M., & Arkin, G.F. (1980). CORNF: A dynamic growth and development model for maize (*Zea mays* L.). Research Center Program and Model Documentation No. 80-2. Texas, Texas Agricultural Experiment Station.
- Tao, F., & Zhang, Z. (2011). Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Climatic Change*, 105, 409-432.
- Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarwamy, G., Andresen, J., & Herrero, M. (2010). Adapting to climate change: Agricultural system and household impacts in East Africa. *Agricultural Systems*, 103, 73-82.
- Tuttolomondo, T., La Bella, S., Lecardane, G., & Leto, C. (2009). *Simulation of the effects of climate change on barley yields in rural Italy*. Second Meeting on Statistics on Rural Development and Agriculture Household Income, 11-12 Jun. Rome, FAO.

- Vaghefi, N., Mad Nasir Shamsudin, Mokmom, A., & Bagheri, M. (2011). The economic impacts of climate change on the rice production in Malaysia. *International Journal of Agricultural Research*, 6(1), 67-74.
- Ward, P.S., Florax, R.J.G.M., & Flores-Lagunes, A. (2014). Climate change and agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: A spatial sample selection model. *European Review of Agricultural Economics*, 41(2), 199-226.
- Wenjiao, S.H.I, Fulu, T., & Zhao, Z. (2013). A review on statistical models for identifying climate contributions to crop yields. *Journal of Geographical Sciences*, 3(3), 567-576.
- Wilkerson, G.G., Jones, J.W., Boote, K.J., Ingram, K.T., & Mishoe, J.W. (1983). Modeling soybean growth for crop management. *Transactions of the ASAE*, 26, 63-73.
- Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., & Spanel, D.A. (1989). The EPIC crop growth model. *Transactions of the ASAE*, 32, 497-511.