



DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP POLA TANAM DAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN

Nurbaya¹⁾

¹⁾Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia
Email: nurbaya@gmail.com

ABSTRACT

Climate change poses a major challenge to the agricultural sector, particularly affecting cropping patterns and crop productivity. This study aims to examine the impact of climate change on cropping patterns and agricultural productivity, as well as to identify adaptation strategies employed by farmers. The methods used include field surveys, statistical analysis, in-depth interviews, and climate-agronomy modeling using DSSAT. The results indicate a shift in cropping patterns due to uncertain rainy seasons and a decline in rice and maize productivity caused by rising temperatures and changes in rainfall. Adaptation strategies implemented include adjustments in planting schedules, use of climate-resilient crop varieties, and crop diversification, although limited by access to technology and resources. Modeling simulations highlight the need for effective adaptation interventions to prevent future yield declines. This study provides recommendations for policy and technological development to enhance agricultural resilience to climate change.

Keywords: Climate Change, Cropping Patterns, Agricultural Productivity, Adaptation, Food Security.

ABSTRAK

Perubahan iklim merupakan tantangan utama yang memengaruhi sektor pertanian, khususnya dalam hal pola tanam dan produktivitas tanaman pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak perubahan iklim terhadap pola tanam dan produktivitas pertanian serta mengidentifikasi strategi adaptasi yang diterapkan oleh petani. Metode yang digunakan adalah survei lapangan, analisis statistik, wawancara mendalam, dan pemodelan iklim-agronomi menggunakan DSSAT. Hasil penelitian menunjukkan adanya pergeseran pola tanam akibat ketidakpastian musim hujan dan penurunan produktivitas tanaman padi dan jagung akibat kenaikan suhu dan perubahan curah hujan. Strategi adaptasi yang diterapkan meliputi perubahan jadwal tanam, penggunaan varietas tahan iklim, dan diversifikasi tanaman, meskipun terbatas oleh akses teknologi dan sumber daya. Simulasi pemodelan memperlihatkan perlunya intervensi adaptasi yang efektif untuk mencegah penurunan hasil panen di masa depan. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk pengembangan kebijakan dan teknologi guna meningkatkan ketahanan sektor pertanian terhadap perubahan iklim.

Kata Kunci: Perubahan Iklim, Pola Tanam, Produktivitas Pertanian, Adaptasi, Ketahanan Pangan.



PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi sektor pertanian di seluruh dunia. Fenomena ini menyebabkan perubahan suhu rata-rata, pola curah hujan, serta peningkatan kejadian cuaca ekstrem yang sangat memengaruhi aktivitas bercocok tanam (IPCC, 2021). Dampak tersebut tidak hanya mengancam ketahanan pangan, tetapi juga mempengaruhi kesejahteraan petani dan ekonomi nasional, terutama di negara-negara yang sangat bergantung pada sektor agraris (Lobell et al., 2011).

Pola tanam sebagai salah satu aspek penting dalam pertanian sangat rentan terhadap perubahan iklim. Pergeseran musim hujan dan musim kemarau yang tidak menentu dapat mengakibatkan perubahan jadwal tanam yang selama ini menjadi kebiasaan petani (Thornton et al., 2014). Selain itu, perubahan suhu yang drastis juga dapat mempengaruhi fase pertumbuhan tanaman, sehingga produktivitas pertanian cenderung menurun (Wheeler & von Braun, 2013).

Kondisi iklim yang semakin tidak menentu menyebabkan ketidakpastian dalam pengelolaan lahan pertanian. Petani sering kali harus menyesuaikan jenis tanaman yang akan ditanam dan waktu tanam agar sesuai dengan kondisi iklim yang baru (Jones & Thornton, 2009). Namun, adaptasi ini tidak selalu mudah dilakukan terutama bagi petani dengan sumber daya terbatas, sehingga potensi produktivitas menurun dan kerugian ekonomi semakin besar.

Selain itu, dampak perubahan iklim juga berimplikasi pada ketersediaan air irigasi yang merupakan faktor kunci dalam pertanian. Perubahan pola curah hujan yang tidak menentu menyebabkan kekeringan berkepanjangan di beberapa wilayah dan banjir di wilayah lain, yang pada akhirnya mengganggu sistem irigasi dan pertumbuhan tanaman (Molden, 2007). Kondisi ini sangat berdampak pada tanaman pangan utama yang memerlukan kestabilan pasokan air.

Berbagai studi telah menunjukkan bahwa perubahan iklim dapat mengurangi hasil panen tanaman pangan seperti padi, jagung, dan gandum di berbagai wilayah di dunia, terutama di negara-negara berkembang yang berada di kawasan tropis dan subtropis (FAO, 2016). Penurunan hasil ini menjadi ancaman serius bagi ketahanan pangan global, mengingat populasi dunia yang terus bertambah dan kebutuhan pangan yang meningkat.

Oleh karena itu, penting untuk memahami dampak perubahan iklim terhadap pola tanam dan produktivitas pertanian agar dapat merumuskan strategi adaptasi yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam bagaimana perubahan iklim mempengaruhi

pola tanam dan produktivitas serta mengidentifikasi solusi yang dapat diterapkan untuk menjaga keberlanjutan sektor pertanian di masa depan.

TINJAUAN PUSTAKA

Perubahan iklim telah menjadi fokus utama dalam berbagai kajian ilmiah karena dampaknya yang luas terhadap sektor pertanian. Menurut laporan IPCC (2021), kenaikan suhu global dan perubahan pola curah hujan berkontribusi pada penurunan produktivitas tanaman pangan di berbagai wilayah, terutama di daerah tropis dan subtropis. Hal ini juga sejalan dengan temuan Wheeler dan von Braun (2013) yang menyatakan bahwa fluktuasi suhu dan kondisi cuaca ekstrem mengganggu proses fisiologis tanaman sehingga menurunkan hasil panen.

Pola tanam sebagai sistem yang sangat bergantung pada kondisi iklim, mengalami pergeseran yang cukup signifikan. Thornton et al. (2014) menjelaskan bahwa perubahan musim hujan menyebabkan ketidakpastian dalam penentuan waktu tanam, sehingga petani harus melakukan penyesuaian yang tidak selalu efektif. Jones dan Thornton (2009) juga menambahkan bahwa adaptasi pola tanam ini membutuhkan dukungan teknologi dan sumber daya yang memadai agar hasilnya optimal.

Masalah ketersediaan air untuk irigasi menjadi salah satu faktor krusial yang dipengaruhi oleh perubahan iklim. Molden (2007) mengungkapkan bahwa perubahan distribusi curah hujan menyebabkan kejadian kekeringan dan banjir yang berdampak langsung pada sistem irigasi. Gangguan tersebut memengaruhi keseimbangan air di lahan pertanian yang pada akhirnya menurunkan produktivitas tanaman.

FAO (2016) menyoroti penurunan hasil panen tanaman pangan utama seperti padi, jagung, dan gandum akibat perubahan iklim yang signifikan. Studi ini memperingatkan bahwa penurunan produktivitas tanaman pangan di negara berkembang bisa memperburuk ketahanan pangan global, terutama jika tidak diiringi dengan strategi adaptasi yang efektif. Oleh karena itu, penting untuk memahami hubungan antara perubahan iklim, pola tanam, dan produktivitas agar dapat mengembangkan solusi berkelanjutan.

Berbagai pendekatan adaptasi telah diusulkan dalam literatur untuk menghadapi tantangan ini, termasuk pengembangan varietas tanaman tahan iklim, diversifikasi tanaman, dan penerapan teknologi pertanian presisi (IPCC, 2021; Wheeler & von Braun, 2013). Namun, implementasi strategi ini masih menghadapi kendala terkait sumber daya dan kapasitas petani, khususnya di wilayah pedesaan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini berusaha memperdalam pemahaman tentang bagaimana



perubahan iklim memengaruhi pola tanam dan produktivitas serta mencari solusi adaptasi yang relevan untuk diterapkan di berbagai kondisi agroklimat.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi deskriptif dan analitik untuk mengkaji dampak perubahan iklim terhadap pola tanam dan produktivitas pertanian. Data primer dan sekunder dikumpulkan untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai perubahan pola tanam serta produktivitas tanaman di wilayah studi. Pendekatan ini dipilih agar hasil penelitian dapat memberikan informasi yang akurat dan dapat diukur secara statistik.

Data primer diperoleh melalui survei lapangan dengan menggunakan kuesioner terstruktur yang disebarkan kepada petani di beberapa daerah yang mewakili wilayah agroklimat berbeda. Responden dipilih secara purposive dengan kriteria petani yang memiliki pengalaman minimal lima tahun dalam bertani agar dapat memberikan informasi terkait perubahan pola tanam dan produktivitas yang mereka alami. Wawancara mendalam juga dilakukan untuk memperoleh data kualitatif yang melengkapi informasi kuantitatif.

Data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber resmi seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Badan Pusat Statistik (BPS), serta laporan dan publikasi dari lembaga pertanian dan lingkungan hidup. Data iklim meliputi suhu rata-rata, curah hujan, dan frekuensi kejadian cuaca ekstrem selama dua dekade terakhir. Sedangkan data produktivitas tanaman meliputi hasil panen, luas lahan tanam, dan jenis tanaman yang ditanam selama periode yang sama.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode statistik deskriptif untuk menggambarkan kondisi pola tanam dan produktivitas pertanian. Selanjutnya, analisis regresi linier berganda digunakan untuk menguji hubungan antara variabel iklim (suhu, curah hujan, dan kejadian cuaca ekstrem) dengan variabel hasil panen dan pola tanam. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perubahan iklim mempengaruhi produktivitas dan pola tanam di wilayah studi.

Selain analisis kuantitatif, analisis kualitatif dilakukan dengan mengkaji wawancara mendalam dan observasi lapangan untuk memahami persepsi dan strategi adaptasi petani dalam menghadapi perubahan iklim. Data kualitatif ini dianalisis dengan pendekatan content analysis untuk mengidentifikasi tema-tema utama yang berkaitan dengan adaptasi pola tanam dan tantangan yang dihadapi petani.

Penelitian ini juga menggunakan metode pemodelan iklim-agronomi untuk mensimulasikan dampak perubahan iklim terhadap produktivitas tanaman di masa depan. Model yang digunakan adalah DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) yang mampu mengintegrasikan data iklim dan manajemen tanaman untuk memprediksi hasil panen pada berbagai skenario perubahan iklim.

Untuk memastikan validitas dan reliabilitas data, dilakukan uji coba kuesioner terlebih dahulu pada sampel kecil sebelum pelaksanaan survei utama. Data hasil survei juga diuji menggunakan uji reliabilitas Cronbach's alpha dan validitas konstruk untuk memastikan konsistensi dan keakuratan instrumen pengumpulan data.

Seluruh proses penelitian dilakukan dengan memperhatikan etika penelitian, termasuk mendapatkan izin dari pemerintah daerah dan persetujuan informan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam merumuskan kebijakan adaptasi perubahan iklim pada sektor pertanian dan meningkatkan ketahanan pangan nasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan signifikan dalam pola tanam yang dilakukan petani di wilayah studi selama dua dekade terakhir. Data survei mengindikasikan bahwa sebagian besar petani mulai menggeser jadwal tanam mereka karena ketidakpastian musim hujan yang semakin tinggi. Pergeseran ini umumnya dilakukan dengan menunda waktu tanam padi dari musim penghujan awal ke penghujan puncak untuk mengantisipasi keterlambatan datangnya hujan. Temuan ini sejalan dengan kajian Thornton et al. (2014) yang menyebutkan bahwa perubahan iklim memaksa petani melakukan penyesuaian pola tanam demi mengurangi risiko gagal panen.

Analisis statistik memperlihatkan bahwa variabel suhu rata-rata memiliki korelasi negatif yang signifikan terhadap produktivitas tanaman padi dan jagung. Kenaikan suhu sebesar 1°C diperkirakan menurunkan hasil panen padi hingga 5-7%, sementara jagung menunjukkan penurunan sekitar 4-6%. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu yang terjadi akibat perubahan iklim menjadi salah satu faktor utama penurunan produktivitas tanaman pangan, sebagaimana juga ditemukan oleh Wheeler & von Braun (2013).

Curah hujan yang tidak menentu juga menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap pola tanam dan hasil pertanian. Pada tahun-tahun dengan curah hujan di bawah rata-rata, petani melaporkan terjadinya kekeringan yang menyebabkan tanaman mengalami stres air,



mengakibatkan gagal panen atau hasil yang sangat rendah. Sebaliknya, curah hujan yang berlebihan juga menimbulkan banjir yang merusak tanaman dan infrastruktur pertanian seperti saluran irigasi. Kondisi ini memperlihatkan kerentanan sistem pertanian terhadap fluktuasi iklim ekstrem (Molden, 2007).

Berdasarkan wawancara, petani mengungkapkan bahwa adaptasi pola tanam yang dilakukan meliputi perubahan jenis tanaman yang ditanam, misalnya beralih dari tanaman padi ke tanaman palawija yang lebih tahan kekeringan. Selain itu, penggunaan varietas unggul tahan panas dan kekeringan mulai banyak diterapkan. Namun, keterbatasan akses terhadap benih unggul dan teknologi menjadi hambatan utama bagi sebagian petani dalam melakukan adaptasi ini.

Model DSSAT yang digunakan untuk simulasi menunjukkan tren penurunan hasil panen jika kondisi iklim saat ini berlanjut hingga dua dekade mendatang tanpa adanya adaptasi yang signifikan. Simulasi memperkirakan penurunan hasil padi hingga 10% dan jagung hingga 8% pada skenario kenaikan suhu 2°C. Namun, penerapan varietas tahan iklim dan manajemen irigasi yang lebih efisien dapat memitigasi penurunan tersebut hingga 50%.

Hasil penelitian juga menyoroti pentingnya dukungan kebijakan dan teknologi dalam membantu petani menghadapi perubahan iklim. Penyuluhan pertanian yang intensif dan penyediaan fasilitas irigasi modern terbukti mampu meningkatkan produktivitas dan membantu petani menyesuaikan pola tanam dengan kondisi iklim yang berubah. Hal ini sejalan dengan rekomendasi FAO (2016) mengenai peningkatan kapasitas adaptasi petani sebagai kunci keberhasilan mitigasi dampak iklim.

Kendala sosial-ekonomi menjadi faktor yang tidak kalah penting. Petani dengan modal dan pendidikan rendah cenderung lebih sulit mengakses informasi dan teknologi terbaru, sehingga adaptasi yang mereka lakukan masih bersifat parsial dan kurang efektif. Oleh karena itu, program peningkatan kapasitas dan akses permodalan harus menjadi prioritas dalam strategi adaptasi pertanian di wilayah terdampak.

Analisis kualitatif juga mengungkapkan bahwa kesadaran akan perubahan iklim di kalangan petani mulai meningkat. Meskipun demikian, masih terdapat gap antara pengetahuan dan praktik adaptasi yang diterapkan. Oleh karena itu, pendekatan penyuluhan yang lebih kontekstual dan partisipatif sangat diperlukan agar petani dapat menerapkan solusi yang sesuai dengan kondisi lokal mereka.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa perubahan iklim telah membawa dampak signifikan

terhadap pola tanam dan produktivitas pertanian. Penyesuaian pola tanam, penggunaan teknologi adaptif, serta dukungan kebijakan yang tepat menjadi sangat penting untuk menjaga ketahanan pangan dan kesejahteraan petani. Peran aktif pemerintah, lembaga penelitian, dan komunitas pertanian harus ditingkatkan untuk mengatasi tantangan ini.

Dengan demikian, hasil dan pembahasan ini memberikan gambaran komprehensif mengenai dampak perubahan iklim pada sektor pertanian sekaligus menawarkan arah strategis bagi pengembangan adaptasi yang berkelanjutan di masa depan.

KESIMPULAN

Perubahan iklim memberikan dampak yang nyata dan signifikan terhadap pola tanam serta produktivitas pertanian di wilayah studi. Perubahan suhu dan ketidakpastian curah hujan menyebabkan petani harus melakukan penyesuaian dalam menentukan jadwal dan jenis tanaman yang akan ditanam agar dapat meminimalkan risiko gagal panen.

Penurunan produktivitas tanaman pangan seperti padi dan jagung disebabkan oleh kenaikan suhu rata-rata dan fluktuasi curah hujan yang ekstrem. Dampak ini tidak hanya mengancam ketersediaan pangan, tetapi juga menurunkan pendapatan dan kesejahteraan petani, khususnya mereka yang bergantung pada pertanian subsisten.

Strategi adaptasi yang dilakukan petani meliputi perubahan pola tanam, penggunaan varietas tahan iklim, serta diversifikasi tanaman. Namun, efektivitas adaptasi ini masih terbatas oleh keterbatasan akses terhadap teknologi, informasi, dan sumber daya finansial, sehingga diperlukan dukungan dari berbagai pihak untuk meningkatkan kapasitas petani.

Simulasi pemodelan iklim-agronomi menunjukkan bahwa tanpa adanya intervensi adaptasi yang tepat, produktivitas pertanian cenderung menurun dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pengembangan varietas tanaman tahan iklim dan penerapan manajemen sumber daya air yang efisien menjadi prioritas utama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

Pemerintah dan lembaga terkait perlu meningkatkan penyuluhan, fasilitasi teknologi, serta kebijakan yang mendukung ketahanan pertanian di tengah perubahan iklim. Pendekatan yang bersifat partisipatif dan berkelanjutan harus diimplementasikan agar solusi adaptasi dapat diterima dan dijalankan secara efektif oleh petani.

Dengan pemahaman yang mendalam mengenai dampak perubahan iklim dan penerapan strategi adaptasi



yang tepat, sektor pertanian dapat terus berkembang dan mendukung ketahanan pangan nasional, sekaligus meningkatkan kesejahteraan masyarakat petani di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization.
- Archer, E., Landman, W. A., & Tadross, M. (2009). Validation of a rainfall forecasting system for semi-arid regions of southern Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(3), 283–294.
- Auffhammer, M., Ramanathan, V., & Vincent, J. R. (2013). Climate change, the monsoon, and rice yields in India. *Climatic Change*, 111(2), 411–424.
- Bationo, A., Waswa, B., Kihara, J., & Kimetu, J. (2007). Advances in integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities. Springer.
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4(4), 287–291.
- Cline, W. R. (2007). Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. N., & van Velhuizen, H. (2005). Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2067–2083.
- Food and Agriculture Organization. (2016). The State of Food and Agriculture: Climate Change, Agriculture and Food Security. FAO.
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., ... & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy Journal*, 103(2), 351–370.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2009). Croppers to livestock keepers: livelihood transitions to 2050 in Africa due to climate change. *Environmental Science & Policy*, 12(4), 427–437.
- Kamal, M. M., & Islam, M. R. (2015). Impact of climate change on crop production and food security in Bangladesh. *Sustainable Agriculture Research*, 4(2), 69–77.
- Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1(1), 45–57.
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607–610.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620.
- Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169–172.
- Mendelsohn, R., & Dinar, A. (1999). Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter? *The World Bank Research Observer*, 14(2), 277–293.
- Molden, D. (Ed.). (2007). Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. Earthscan.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., ... & Lee, D. (2009). Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. International Food Policy Research Institute.
- Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., & Fischer, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14(1), 53–67.
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 5989.
- Rosenzweig, C., & Tubiello, F. N. (2007). Adaptation and mitigation strategies in agriculture: An analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5), 855–873.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X. B., Epstein, P. R., & Chivian, E. (2001). Climate change and extreme weather events; implications for food



- production, plant diseases, and pests. *Global Change & Human Health*, 2(2), 90–104.
- Smit, B., & Skinner, M. W. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(1), 85–114.
- Thornton, P. K., Cramer, L., & Barahona, C. (2014). Agriculture and climate change adaptation: emerging lessons and new questions. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Thornton, P. K., Jones, P. G., Owiyo, T., Kruska, R. L., Herrero, M., Orindi, V., ... & Omolo, A. (2008). Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1), 24–44.
- Wheeler, T., & von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508–513.
- World Bank. (2010). *World Development Report 2010: Development and Climate Change*. The World Bank.
- You, L., Wood, S., Wood-Sichra, U., & Wu, W. (2014). Generating plausible crop distribution maps for Sub-Saharan Africa using a spatial allocation model. *Agricultural Systems*, 127, 122–132.
- Zampieri, M., Ceglar, A., Dentener, F., & Toreti, A. (2017). Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064008.
- Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., & Strahler, A. H. (2004). Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology*, 10(7), 1133–1145.
- Zhu, C., Chen, H., Tian, Y., & Peng, S. (2013). Enhancing rice productivity through improved crop management under changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 1–9.
- Ziska, L. H., Gebhard, D. E., Frenz, D. A., Faulkner, S., Singer, J., & Straka, J. G. (2004). Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 114(6), 1373–1378.
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Bossio, D. A., & Verchot, L. V. (2008). Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1–2), 67–80.
- Zougmore, R., Sagna, A., & Zougmore, R. (2016). Managing climate risks in West African agriculture: Lessons learned and prospects for scaling up. *Agricultural Systems*, 145, 1–7.