

Impak Perubahan Iklim dan Jaminan Keselamatan Makanan: Cabaran Pengeluaran Padi di Malaysia

(Impact of Climate Change and Ensuring Food Security: Challenges for Rice Production in Malaysia)

SHAI DATUL AZDAWIYAH ABDUL TALIB^{1,2,*}, WAN MOHD RAZI IDRIS², LIEW JU NENG², TUKIMAT LIHAN², MUHAMMAD ZAMIR ABDUL RASID¹

¹*Institut Penyelidikan dan Kemajuan Pertanian Malaysia (MARDI), Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 UPM Serdang, Selangor, Malaysia*

²*Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

Diserahkan: 4 Jun 2024/Diterima: 15 Ogos 2024

ABSTRAK

Isu perubahan iklim global menjadi perhatian masyarakat dunia ekoran impak negatif terhadap trend cuaca yang menjurus kepada berlakunya peristiwa ekstrim. Di Malaysia, peningkatan suhu dan perubahan corak taburan hujan mengakibatkan berlakunya banjir dan kemarau, yang turut memberi kesan kepada kawasan pertanian termasuklah tanaman padi. Lembaga Kemajuan Pertanian Muda (MADA) merupakan kawasan jelapang terbesar di Malaysia turut berdepan dengan permasalahan ini. Oleh itu, perubahan corak taburan hujan serta suhu persekitaran perlu dianalisis ekoran impak terhadap hasil tanaman yang turut akan melibatkan isu jaminan keselamatan makanan. Data iklim cerapan (1991-2020) dan unjuran perubahan iklim (CMIP5) di bawah senario RCP 4.5 dan RCP 8.5 dianalisis bagi 7 lokasi terpilih di MADA, merangkumi ujian Mann-Kendall (MK) dan kecerunan Sen (SS), indeks keamatan hujan (PCI), indeks anomali hujan (RAI), indeks kerpasan piawai (SPI) dan anomali suhu. Unjuran dibahagikan kepada 3 tempoh masa; awal abad (2020-2046), pertengahan abad (2047-2073) dan akhir abad (2074-2099). Hasil ujian MK dan SS mendapati jumlah taburan hujan tahunan dan kedua-dua musim penanaman dijangka akan terus meningkat dengan corak hujan yang tidak sekata pada musim utama. Tiada kemarau dijangkakan di MADA dengan peningkatan sehingga 2.74 °C (RCP 4.5) dan 4.83 °C (RCP 8.5). Unjuran hasil DSSAT 4.8 menggambarkan purata hasil tanaman padi berkurangan sekitar 19% - 25% (RCP 4.5) dan sekitar 20% - 27% (RCP 8.5) berbanding hasil yang direkodkan pada tahun 2022. Sehubungan itu, hasil kajian ini dapat membantu para penyelidik dan penggubal dasar merangka strategi adaptasi dan mitigasi terbaik bagi menjamin keselamatan makanan dan pembangunan mapan.

Kata kunci: Hujan; perubahan iklim; suhu; unjuran hasil padi

ABSTRACT

Climate change issues has become a concern of the global community due to the negative impacts on weather trends, leading to extreme events. In Malaysia, temperature increase, and rainfall patterns changes have resulted in floods and droughts, which also affect agricultural areas including rice crop. The Muda Agricultural Development Authority (MADA), being the largest granary area in Malaysia, also faces this issue. Therefore, studies regarding changes in temperatures and rainfall patterns is crucial due to the impact on crop yields, which involves food security. Climate observation data (1991-2020) and climate change projections (CMIP5) under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios were analyzed for 7 selected locations in MADA, including the Mann-Kendall (MK) test and Sen's slope (SS), precipitation concentration index (PCI), rainfall anomaly index (RAI), standardized precipitation index (SPI), and temperature anomaly. Projections were divided into three time periods: early century (2020-2046), mid-century (2047-2073), and late century (2074-2099). The MK and SS tests found total annual rainfall and both planting seasons will increase with irregular rainfall pattern during main season. No drought is expected in MADA with temperature increase up to 2.74 °C (RCP 4.5) and 4.83 °C (RCP 8.5). DSSAT 4.8 yield projections indicate a reduction in average yield of approximately 19% - 25% (RCP 4.5) and about 20% - 27% (RCP 8.5) compared to the yields recorded in 2022. This information aids researchers and policymakers in developing the best adaptation and mitigation strategies to ensure food security and sustainable development.

Keywords: Climate change; rainfall; rice yield projection; temperature

PENGENALAN

Sektor pertanian adalah antara yang terpenting dalam struktur ekonomi sesebuah negara, serantau mahupun dunia ekoran status sebagai tulang belakang kebanyakan negara dan menjadi sumber pendapatan utama dalam sistem ekonomi. Lebih daripada 60% penduduk dunia bergantung secara langsung kepada sektor pertanian (Oduor et al. 2023). Impak perubahan iklim terhadap sektor pertanian merupakan isu yang membimbangkan di seluruh dunia. Pihak Persidangan Rangka Kerja Pertubuhan Bangsa-bangsa Bersatu mengenai Perubahan Iklim (UNFCCC) juga telah mengenal pasti bahawa perubahan iklim mendatangkan ancaman terhadap sektor pengeluaran makanan dan menjadi antara perhatian utama (Shaidatul et al. 2015). Amnya, tumbesaran dan pengeluaran hasil tanaman sangat berkait rapat dengan parameter iklim. Radiasi solar, suhu persekitaran dan taburan hujan serta pola musim adalah faktor utama bagi pertumbuhan tanaman meliputi pelbagai mekanisme secara langsung mahupun tidak langsung (Shaidatul et al. 2020).

Berdasarkan data yang telah diterbitkan oleh Pertubuhan Makanan dan Pertanian (FAO) pada 2016, sekiranya situasi pelepasan GHG perubahan iklim pada ketika ini berterusan, pada tahun 2100 akan berlaku penurunan produktiviti tanaman bijirin utama (20% - 45% bagi tanaman jagung, 5% - 50% bagi tanaman gandum dan 20% - 30% bagi tanaman padi). Oleh yang demikian, seandainya trend ini berterusan, dalam jangka masa yang terdekat ini akan berlaku kemerosotan hasil tanaman, mengakibatkan kekurangan sumber pengeluaran dan kenaikan harga makanan yang seterusnya menimbulkan kesukaran dalam mengatasi isu peningkatan jumlah keperluan makanan ekoran pertambahan bilangan penduduk (Naven et al. 2019).

Nasi merupakan makanan ruji penduduk Malaysia dan permintaannya telah mencapai sekitar 32.70 juta pada tahun 2022. Permintaan dijangkakan akan terus meningkat selaras dengan pertambahan bilangan penduduk negara. Hal ini terbukti dengan peningkatan jumlah permintaan hasil pengeluaran tanaman padi daripada 2.7 juta tan setahun pada 1986 hingga 4 juta tan setahun pada 2009 akibat peningkatan populasi penduduk. Secara puratanya, rakyat Malaysia memerlukan sekitar 2.5 juta tan metrik beras setahun, namun pengeluaran beras negara hanyalah sekitar 70% daripada keperluan itu (Mohd, Nurul & Juairiah 2021). Menurut Jabatan Perangkaan Malaysia, penggunaan beras per kapita di Malaysia adalah sekitar 78 kg pada tahun 2019 (DOSM 2023), dengan hanya 71.6% daripada permintaan domestik dipenuhi oleh pengeluaran beras tempatan. Oleh itu, purata hasil tanaman padi negara perlu melebihi 5 tan/ha bagi memenuhi keperluan ini (DOA 2022). Malaysia kini menduduki tempat ke-41 dalam Indeks Sekuriti Makanan Global (GSFI), menggambarkan terdapat cabaran yang perlu ditempuh dalam memastikan keselamatan makanan (Wahab 2023). Antaranya adalah isu pengeluaran hasil pertanian yang agak rendah yang hanya

mencapai 45% daripada purata negara berpendapatan tinggi (DOSM 2023) berpunca daripada impak perubahan iklim. Hal ini diperkukuhkan oleh Benton et al. (2022) dalam kajian mereka yang melaporkan perubahan iklim turut mengganggu sistem rantai makanan yang mengakibatkan bekalan makanan berkurangan secara keseluruhan dan meningkatkan kebimbangan terhadap isu keselamatan makanan.

Sehubungan itu, pada tahun 2015, Kementerian Pertanian dan Industri Asas Tani (MOA) pada ketika itu dan terkini dikenali sebagai Kementerian Pertanian dan Keterjaminan Makanan (KPKM) telah mensasarkan kadar sara diri (SSL) 100% pada tahun 2020 bagi tanaman padi bawah Dasar Agromakanan Negara (2011-2020) (DAN) berikutan krisis bekalan makanan global yang berlaku sekitar tahun 2008, selain menjamin keselamatan makanan dalam usaha untuk memenuhi keperluan penduduk yang semakin meningkat saban hari. Namun begitu, kadar SSL tersebut masih belum tercapai dan menurut data Jabatan Perangkaan Malaysia, kadar SSL beras negara adalah 65% pada tahun 2021 (DOSM 2023). Hal ini memberi gambaran penghasilan beras dalam negara hanya dapat memenuhi 65% permintaan tempatan, manakala selebihnya bergantung kepada hasil import daripada negara luar. Tambahan pula, kadar SSL tersebut berkemungkinan usaha untuk meningkatkan SSL beras negara akan berdepan dengan pelbagai cabaran berikutan DOSM merekodkan trend penurunan yang nyata sehingga 2.77% bermula tahun 2015 (SSL: 72.3%) hingga pada tahun 2020 (SSL: 62.9%). Sehubungan dengan itu, KPKM terkini mensasarkan negara mencapai sasaran kadar SSL beras melebihi 75% menjelang tahun 2025 dan 80% menjelang tahun 2030 sebagai jaminan makanan untuk rakyat (Husin 2023) selaras dengan Pelan Tindakan Dasar Sekuriti Makanan (2021-2025) dan Dasar Agro-Makanan Negara 2.0 (2021-2030).

Jelapang padi adalah kawasan yang mempunyai skim pengairan yang besar (keluasan melebihi 4,000 hektar) dan diiktiraf oleh kerajaan Malaysia dalam Dasar Pertanian Negara sebagai kawasan utama pengeluaran padi. Terdapat 10 kawasan jelapang padi di Semenanjung Malaysia (Rajah 1) iaitu: 1) MADA (*Muda Agricultural Development Authority*), 2) KADA (*Kemubu Agricultural Development Authority*), 3) IADA (*Integrated Agriculture Development Authority*) Barat Laut Selangor, 4) IADA Kerian, 5) IADA Pulau Pinang, 6) IADA Seberang Perak, 7), IADA KETARA (Kawasan Pembangunan Pertanian Terengganu Utara), 8), IADA Kemasin Semerak, 9) IADA Pekan dan 10) IADA Rompin.

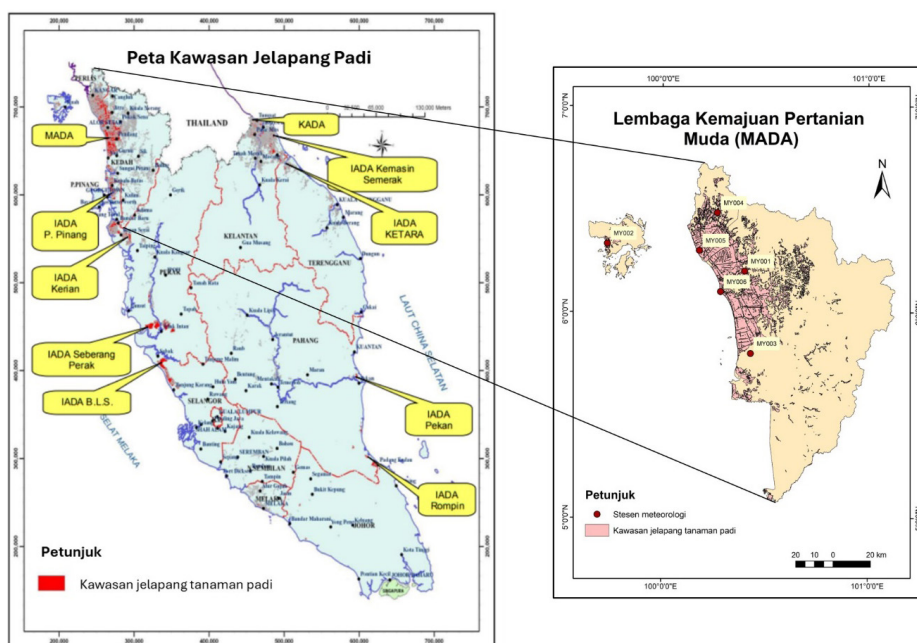
Berdasarkan kajian terdahulu, fenomena perubahan iklim didapati membawa impak negatif terhadap sektor pertanian negara termasuklah tanaman padi. Laporan Komunikasi Nasional ke-4 (NC4) oleh NRES (2024) turut melaporkan senario perubahan iklim pada masa akan datang dijangka akan mengakibatkan berlakunya kejadian banjir dan kemarau di Malaysia yang turut melibatkan

kawasan pertanian (NRES 2024). Kawasan tanaman padi yang diwakili oleh 3 jelapang utama iaitu MADA, KADA dan IADA BLS dilaporkan menunjukkan kemerosotan hasil sekitar 16% hingga 39% bagi musim utama manakala sekitar 7% hingga 30% bagi luar musim berbanding hasil yang direkodkan pada tahun 2019 sepanjang tempoh 2030 dan 2050 (KPKM 2023; NRES 2024). Bagi musim utama, KADA mencatatkan peratusan kemerosotan yang tertinggi (39.2%), diikuti MADA (27.0%) dan IADA BLS (16.0%); manakala bagi luar musim pula, MADA merekodkan peratusan kemerosotan tertinggi (30.1%), diikuti IADA BLS (24.7%) dan KADA (7.2%). Hal ini berlaku akibat perubahan corak dan keamatan hujan serta perubahan suhu persekitaran yang merupakan antara asas terpenting yang diperlukan dalam proses pertumbuhan tanaman (NRES 2024). Sehubungan itu, objektif kajian ini adalah bagi

menilai dan menganalisis impak senario perubahan iklim terhadap hasil tanaman padi pada masa akan datang. Hasil kajian ini dapat membantu para penyelidik dan penggubal dasar dalam usaha untuk membangunkan strategi adaptasi yang bersesuaian untuk mengurangkan impak perubahan senario perubahan iklim bagi memastikan keterjaminan dan keselamatan makanan selain kelestarian persekitaran pada masa akan datang.

KAWASAN KAJIAN

Bagi tujuan kajian, kawasan MADA telah dipilih berdasarkan keluasan tanaman yang menjadikan kawasan ini sebagai kawasan jelapang terbesar di Malaysia. Kawasan MADA terletak di utara Semenanjung Malaysia yang meliputi negeri Kedah dan Perlis (Jadual 1).



RAJAH 1 . Lokasi stesen cerapan meteorologi di kawasan MADA

JADUAL 1. Stesen cerapan meteorologi

Kod stesen	Nama stesen	Latitud	Longitud
MY001	Alor Setar	6.2000 °N	100.4000 °E
MY002	Pulau Langkawi	6.3333 °N	99.7333 °E
MY003	PP Charok Padang	5.8000 °N	100.4300 °E
MY004	Chuping	6.4833 °N	100.2667 °E
MY005	FELDA Chuping A	6.3000 °N	100.1800 °E
MY006	PP Teluk Chengai	6.1000 °N	100.2833 °E

METODOLOGI KAJIAN

PENGUMPULAN DATA CERAPAN IKLIM MASA LAMPAU

Data cerapan harian bagi suhu persekitaran dan taburan hujan bagi sela masa 30 tahun (1991 hingga 2020) bagi Semenanjung Malaysia diperoleh daripada MetMalaysia. Data radiasi solar yang diperlukan bagi tujuan simulasi hasil tanaman padi menggunakan DSSAT 4.8 diperoleh daripada projek NASA-Power yang boleh dicapai dalam talian (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) berikutan tidak semua stesen cerapan merekodkan data radiasi solar. Data cerapan harian dikumulatikan kepada skala masa bulanan, tahunan dan musim untuk tujuan analisis lanjut. Data cerapan iklim daripada MetMalaysia tidak terbuka kepada orang awam dan memerlukan permohonan serta justifikasi lengkap untuk proses perolehan data. Oleh yang demikian, sebagai alternatif, data daripada projek NASA-Power yang diakses bebas oleh orang awam dicadangkan sebagai alternatif sekiranya terdapat kekangan bagi mendapatkan data cerapan iklim daripada MetMalaysia. Walau bagaimanapun, data cerapan iklim yang dikumpulkan daripada stesen cuaca di lapangan adalah yang terbaik bagi mewakili lokasi yang dipilih.

UNJURAN SENARIO PERUBAHAN IKLIM

Unjuran senario perubahan iklim bagi kajian ini adalah berdasarkan model peredaran am CMIP5 dan dua senario emisi yang terlibat adalah RCP 4.5 dan RCP 8.5. Jadual 2 menunjukkan senarai 5 model peredaran am terbaik yang dipilih bagi menghasilkan data unjuran taburan hujan, suhu persekitaran dan radiasi solar. Pemilihan model adalah berdasarkan ketekalan, kualiti dan nilai data unjuran berdasarkan penilaian bagi 3 kriteria yang berbeza menggunakan rajah Taylor, melibatkan pekali korelasi linear (R), sisihan piawai normal (σ) dan sisihan punca kuasa min kuasa dua terpusat (CRMSD) (Enayati et al. 2021) bagi memperoleh data purata gabungan model (MME).

ANALISIS TREND BAGI TABURAN HUJAN DAN SUHU

Trend taburan hujan dan suhu dianalisis dalam 4 fasa yang berbeza berdasarkan pengkelasan oleh *World Meteorological Organization* (WMO) bagi cerapan lampau/garis dasar (tahun normal) dan Laporan Komunikasi Nasional ke-Empat (NC4) oleh Kementerian Sumber Asli dan Kelestarian Alam (NRES) bagi unjuran perubahan iklim iaitu: 1) Cerapan lampau/garis dasar – 1990 hingga 2020, 2) Awal abad – 2020 hingga 2046, Pertengahan abad – 2047 hingga 2073 dan 4) Akhir abad – 2074 hingga 2099.

UJIAN MANN-KENDALL DAN UJIAN KECERUNAN SEN

Ujian Mann-Kendall (MK) adalah ujian bukan parametrik yang digunakan secara global dalam analisis kecenderungan parameter meteorologi (Shoukat & Madeeha 2021)

kerana keberkesanan penilaiannya bagi taburan data yang tidak normal. Ujian MK tidak memerlukan taburan data normal kerana ia hanya menunjukkan kecenderungan arah trend yang signifikan dan tidak melibatkan sebarang magnitud. Ujian MK lazimnya digunakan bagi pengesanan perubahan trend dalam data siri masa khususnya data cerapan meteorologi seperti taburan hujan dan perubahan suhu serta data yang berkaitan dengan persekitaran seperti luahan, luahan endapan dan kualiti air (Hamzah, Saimi & Jaafar 2017).

Dalam ujian MK, dua ujian hipotesis perlu dipertimbangkan untuk pengesanan kewujudan trend dalam satu siri masa; (i) Hipotesis nul (H_0) – tiada trend dalam siri masa dan (ii) Hipotesis alternatif (H_a) – terdapat trend dalam data siri masa. Nilai kebarangkalian (nilai p) digunakan dalam pengujian hipotesis. Jika nilai $p > \alpha = 0.05$, H_0 diterima, bererti tiada trend dalam siri masa, manakala jika nilai $p < \alpha = 0.05$, H_a pula diterima, menggambarkan terdapat trend (positif atau negatif) dalam siri masa tersebut (Tian, Prange & Merkel 2016). Mohon rujuk kajian terdahulu oleh Saimi et al. (2020) untuk maklumat lanjut.

Ujian Kecerunan Sen (SS) adalah ujian bukan parametrik yang digunakan untuk menggambarkan trend linear dan lebih signifikan daripada kaedah persamaan regresi. Dalam kajian ini, kaedah SS digunakan bagi taburan hujan dan suhu. Jika siri masa menggambarkan trend linear, kaedah bukan parametrik yang mudah boleh digunakan untuk menentukan kecerunan sebenar. Mohon rujuk kajian terdahulu oleh Ninu Krishnan, Prasanna dan Vijith (2020) untuk maklumat lanjut.

INDEKS KEAMATAN HUJAN

Indeks Keamatan Hujan (PCI) melibatkan nilai tahunan atau musim digunakan bagi menilai variasi (kepelbagaian) hujan (Persamaan 1) pada skala yang berbeza (Asfaw et al. 2018) dengan (i) Skala < 10: Keamatan hujan adalah rendah (taburan hujan bulanan adalah sekata); (ii) Skala 11 – 15: Keamatan hujan adalah sederhana; (iii) Skala 16 – 20: Keamatan hujan adalah tinggi dan (iv) Skala > 21: Keamatan hujan adalah sangat tinggi.

$$PCI_{\text{tahunan/musim}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\sum_{i=1}^{12} p_i} \times 100 \quad (1)$$

dengan p_i adalah jumlah hujan bagi i^{th} bulan.

INDEKS KERPASAN PIAWAI

Pengiraan Indeks Kerpasan Piawai (SPI) adalah berdasarkan skala masa yang diperlukan. Sekiranya skala masa adalah 1 bulan (SPI-1), jumlah hujan harian pada bulan tertentu akan dikumpulkan untuk memperoleh jumlah hujan bagi bulan tersebut sepanjang kajian. Kajian ini melibatkan pengiraan SPI bagi skala 1, 3, 6 dan 12. Data yang diperoleh kemudiannya dipadankan dengan taburan gamma kerana ia lebih kukuh dan bersesuaian untuk data

hujan (Griddings et al. 2005) dan nilai SPI yang diperoleh seterusnya dikelaskan dalam pengkelasan berikut (Shaidatul et al. 2024); (i) Ekstrim basah: ≥ 2.00 ; (ii) Sangat basah: 1.50 hingga 1.99; (iii) Sederhana basah: 1.00 hingga 1.49; (iv) Hampir normal: -0.99 hingga 0.99; (v) Sederhana kering: -1.00 hingga -1.49; (vi) Sangat kering: -1.50 hingga -1.99 dan (vii) Ekstrim kering: ≤ -2.00 . Nilai SPI menggambarkan iklim berada dalam fasa kering (nilai SPI negatif) atau lembap (nilai SPI positif). Mohon rujuk kajian terdahulu oleh Farhan et al. (2022) untuk maklumat lanjut.

ANOMALI SUHU

Anomali suhu diperoleh berdasarkan perbandingan suhu semasa dengan purata suhu bagi tempoh tertentu (garis dasar) (Persamaan 2)

$$T_{\text{anomali}} = T - T_x \quad (2)$$

dengan T adalah suhu dan T_x adalah purata suhu bagi tempoh tertentu (garis dasar).

UNJURAN HASIL TANAMAN PADI

Simulasi unjuran hasil tanaman padi dijalankan menggunakan program CERES-Rice dalam perisian *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) bagi menganalisis impak perubahan iklim terhadap hasil. Varieti padi yang digunakan adalah MR297 (MARDI Siraj), merupakan varieti popular pilihan petani pada masa kini menggantikan MR219 berikutan hasil produktiviti yang tinggi serta kerintangan terhadap perosak dan penyakit.

Sistem DSSAT telah dibangunkan oleh *International Benchmark Systems Network for Agrotechnology Transfer* (IBSNAT). DSSAT telah digunakan secara meluas di seluruh dunia lebih 3 dekad yang lalu dalam usaha untuk membangunkan satu sistem pengurusan tanaman terbaik bagi memaksimumkan pengeluaran hasil dan versi yang terkini adalah DSSAT 4.8. Terdapat 42 jenis tanaman yang dihimpunkan dalam perisian DSSAT termasuk (CERES-Rice untuk kajian tanaman padi) dengan data tanah dan cuaca boleh diakses bersama data pengurusan tanaman dan boleh digunakan untuk simulasi kadar pertumbuhan serta meramalkan jangkaan hasil (Sarkar 2006). CERES-Rice merupakan model simulasi pertumbuhan bagi tanaman padi yang dibangunkan berdasarkan ciri fisiologi. Untuk keterangan model yang lebih komprehensif, mohon rujuk kajian terdahulu oleh Hoogenboom dan Jones (2023).

HASIL DAN PERBINCANGAN

KEHOMOGENAN DATA

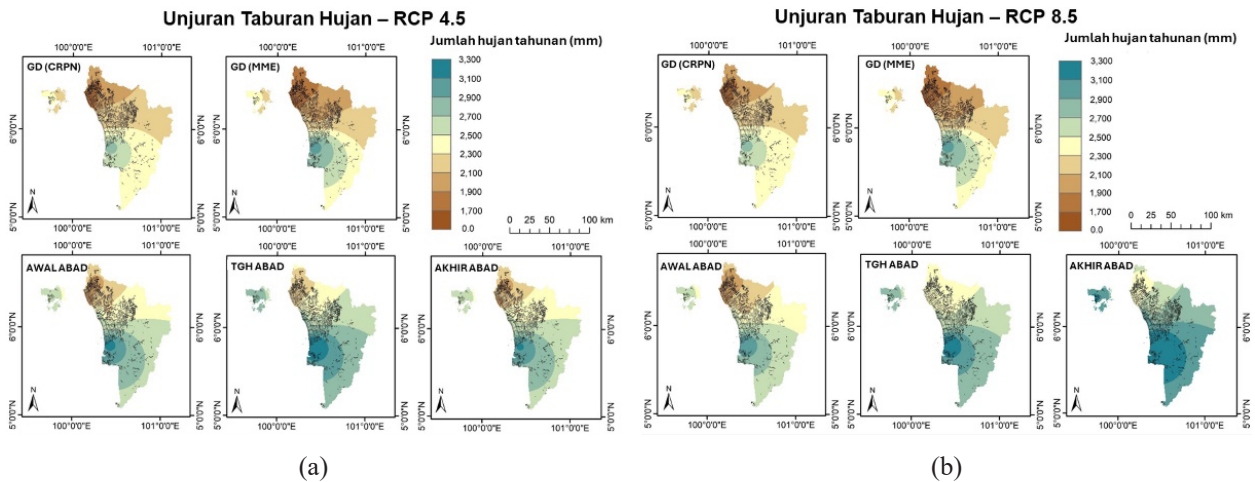
Hasil analisis kehomogenan data bagi taburan hujan (Jadual 3) mendapati 4 daripada 6 stesen dilabel sebagai Kelas A (bermanfaat) manakala selebihnya dilabel sebagai Kelas B (diragui). Bagi suhu persekitaran pula, hasil analisa kehomogenan data (Jadual 3) mendapati hanya 3 stesen dikategorikan sebagai kelas A (bermanfaat) manakala selebihnya adalah Kelas B (diragui). Stesen yang dikategorikan sebagai Kelas B ini tidak tersenarai dalam stesen utama MetMalaysia dan hal ini berkemungkinan menjadi faktor utama kurang proses penyelenggaraan dan kaliberasi (Tan et al. 2019). Oleh yang demikian, berdasarkan Jadual 3, semua stesen akan digunakan dalam analisis trend perubahan taburan hujan dan suhu memandangkan tiada stesen yang dikelaskan dalam Kelas C (disyaki).

NORMALITI DATA

Berdasarkan hasil ujian Shapiro-Wilk, dapat disimpulkan bahawa taburan data hujan dan perubahan suhu bagi kesemua stesen adalah tidak normal (Jadual 4). Oleh yang demikian, analisis trend bukan parametrik akan digunakan bagi menentukan trend taburan hujan dan perubahan suhu bagi semua stesen.

TREND PERUBAHAN TABURAN HUJAN

Rajah 2 menunjukkan bahawa diunjurkan akan berlakunya peningkatan hujan bagi kedua-dua senario RCP 4.5 (Rajah 2(a) dan RCP 8.5 (Rajah 2(b)) sepanjang awal, pertengahan dan akhir abad sehingga tahun 2100. Hasil ujian MK dan SS menggambarkan trend positif (Rajah 3(a)) bagi perubahan hujan tahunan kedua-dua senario bagi kedua-dua walaupun tidak signifikan. Peningkatan hujan bagi senario RCP 4.5 dijangkakan sekitar 7% pada awal dan akhir abad, 14% pada pertengahan abad berbanding garis dasar manakala bagi senario RCP 8.5, hujan dijangka meningkat sekitar 5% pada awal abad, 15% pada pertengahan abad dan 23% pada akhir abad. Musim utama menunjukkan peningkatan hujan yang signifikan pada awal dan pertengahan abad bagi senario RCP 8.5 manakala pengurangan hujan yang signifikan pada akhir abad di bawah senario RCP 8.5. Berbeza bagi luar musim, dijangkakan berlaku pengurangan hujan yang signifikan pada pertengahan abad dan akhir abad di bawah senario RCP 8.5. Rajah 4 menunjukkan taburan reruang bagi nilai PCI di bawah senario RCP 4.5 (Rajah 4(a)) dan RCP 8.5 (Rajah 4(b)). Nilai purata PCI



RAJAH 2. Unjuran taburan hujan bagi (a) senario RCP 4.5 dan (b) senario RCP 8.5

JADUAL 2. Model peredaran am CMIP5

Model (Singkatan IPCC)	Institusi	Negara	Resolusi (latitud × longitud)
GFDL-CM3	NOAA/GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory)	USA	2.00° × 2.00°
CNRM-CM5	National Centre of Meteorological Research, France	Perancis	1.40° × 1.40°
HadGEM2-AO	Met Office Hadley Center, UK	UK	1.25° × 1.88°
NorESM1-M	Norwegian Climate Center, Norway	Norway	1.90° × 2.50°
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute, Japan	Jepun	1.10° × 1.10°

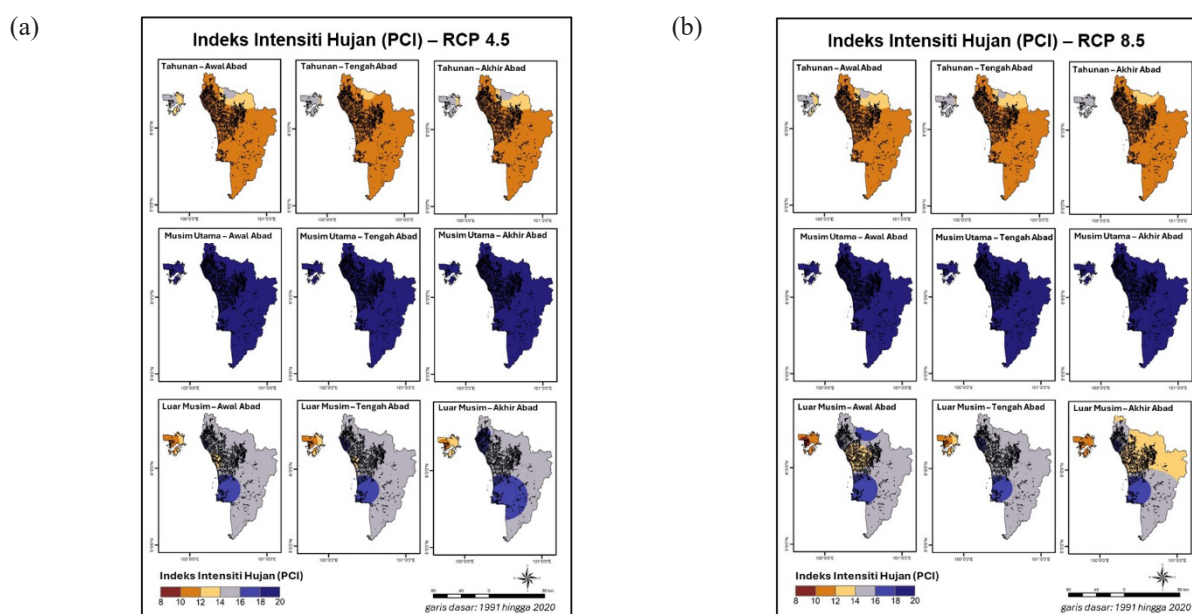
(a)	Tempoh masa	Musim utama		Luar musim		▲ Trend positif ▼ Trend negatif ▲ Trend positif pada aras keyakinan 95 % ▼ Trend negatif pada aras keyakinan 95 % ▲ Trend positif pada aras keyakinan 90 % ▼ Trend negatif pada aras keyakinan 90 %
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	
	Tahunan	▲	▲	▲	▲	
	2020-2046	▲	▲	▲	▲	
	2047-2073	▲	▲	▼	▲	
	2074-2099	▼	▼	▼	▲	

(b)	Tempoh masa	Musim utama		Luar musim		▲ Trend positif pada aras keyakinan 95 % ▲ Trend positif pada aras keyakinan 90 %
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	
	Tahunan	▲	▲	▲	▲	
	2020-2046	▲	▲	▲	▲	
	2047-2073	▲	▲	▲	▲	
	2074-2099	▲	▲	▲	▲	

RAJAH 3. Ujian Mann-Kendall dan Kecerunan Sen bagi unjuran tahunan (a) taburan hujan dan (b) perubahan suhu

JADUAL 3. Hasil analisis kehomogenan data taburan hujan dan suhu

Parameter	Kelas A (bermanfaat)		Kelas B (diragui)		Kelas C (disyaki)
Taburan hujan	MY001	Alor Setar	MY003	PP Charok Padang	
	MY002	Pulau Langkawi	MY006	PP Teluk Chengai	
	MY004	Chuping			
	MY005	FELDA Chuping A			
Suhu	MY001	Alor Setar	MY003	PP Charok Padang	
	MY002	Pulau Langkawi	MY006	PP Teluk Chengai	
	MY004	Chuping	MY005	FELDA Chuping A	



RAJAH 4. Indeks keamatan hujan (PCI) bagi (a) senario RCP 4.5 dan (b) senario RCP 8.5

berubah antara 21 hingga 22 (> 21) pada musim utama, menggambarkan kadar keamatan hujan yang sangat tinggi (hujan yang tidak teratur), manakala secara tahunan dan sewaktu luar musim, nilai PCI adalah sekitar 11 hingga 15, menggambarkan kadar keamatan hujan adalah sederhana.

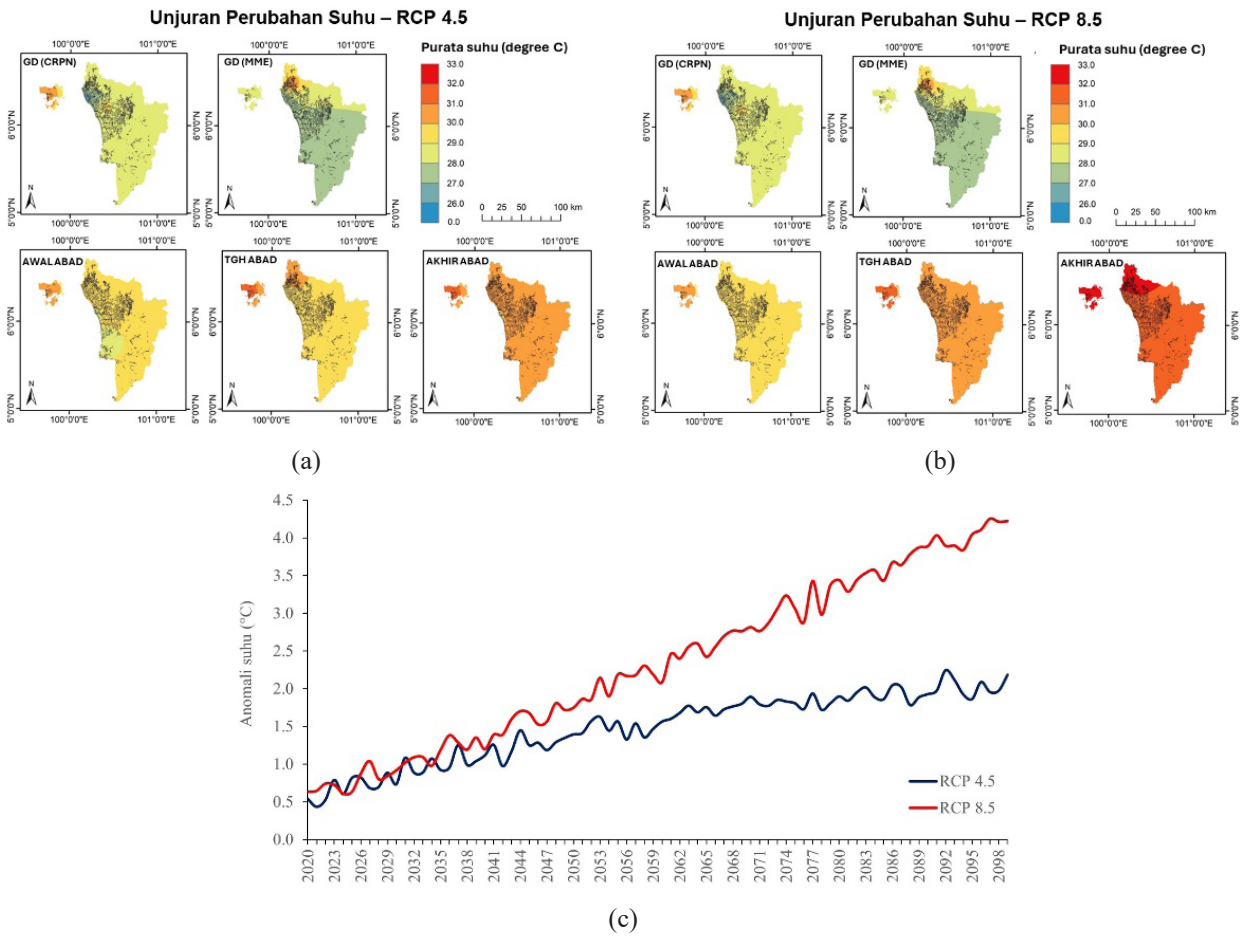
INDEKS KERPASAN PIAWAI (SPI)

Nilai SPI dibangunkan untuk 4 skala masa yang berbeza; 1 bulan (SPI-1), 3 bulan (SPI-3), 6 bulan (SPI-6) dan 12 bulan (SPI-12). Nilai SPI-1 boleh digunakan bagi mencirikan kemarau jangka pendek yang boleh dikaitkan dengan kandungan kelembapan tanah yang sangat penting bagi sektor pertanian. Nilai SPI-3 memberi gambaran anggaran jumlah hujan, SPI-6 pula menunjukkan trend skala-meso

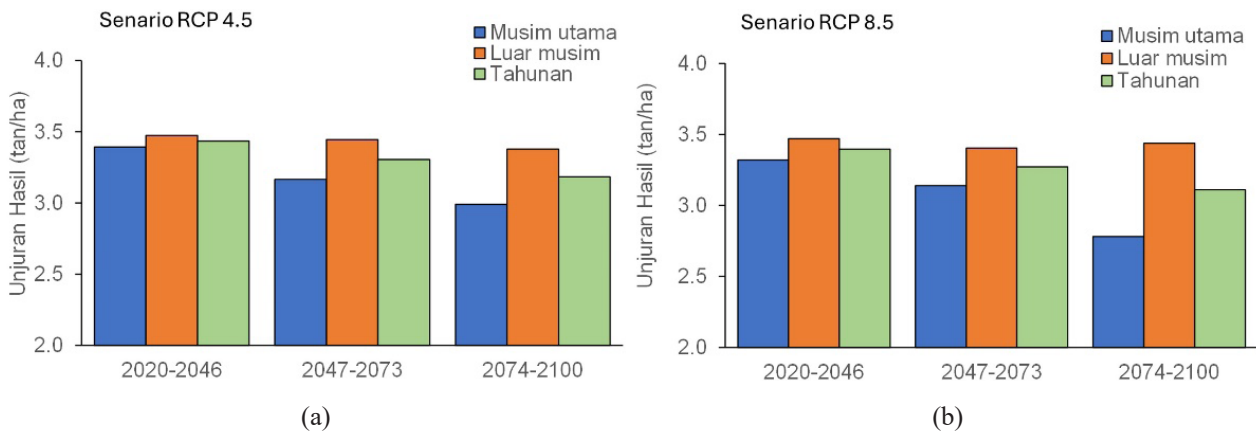
manakala SPI-12 mewakili hujan bagi tempoh jangka masa panjang dan menjadi informasi penting kepada sistem pengurusan bekalan air yang melibatkan aliran sungai, takungan dan aras air bawah tanah. Jadual 5 menunjukkan pengelasan taburan hujan berdasarkan nilai SPI.

TREND PERUBAHAN SUHU

Rajah 5 merupakan taburan ruang corak perubahan suhu bagi senario RCP 4.5 (Rajah 5(a)) dan RCP 8.5 (Rajah 5(b)). Suhu diunjurkan akan meningkat sehingga tahun 2099 dengan hasil ujian MK dan SS menunjukkan trend positif yang signifikan (Rajah 3(b)). Suhu diunjurkan akan meningkat sehingga 2.66 °C menjelang tahun 2099 (RCP 4.5) dan 4.58 °C (RCP 8.5) berdasarkan garis dasar (Rajah 5(c)).



RAJAH 5. Unjuran perubahan suhu bagi (a) senario RCP 4.5; (b) senario RCP 8.5 dan (c) anomali perubahan suhu senario RCP 4.5 dan 8.5



RAJAH 6. Unjuran hasil tanaman padi bagi (a) senario RCP 4.5 dan (b) RCP 8.5

JADUAL 4. Hasil ujian normaliti Shapiro–Wilk bagi taburan hujan

Parameter	Bulan	MY001	MY002	MY003	MY004	MY005	MY006
Taburan hujan	Jan	0.31	0.25	0.08	<0.001*	0.21	0.41
	Feb	<0.001*	0.35	0.31	0.23	0.00*	0.51
	Mac	0.25	0.15	0.19	0.27	0.06	0.07
	Apr	0.93	0.22	0.60	0.42	0.52	0.87
	Mei	0.12	0.15	0.21	0.53	0.35	0.30
	Jun	0.99	0.66	0.24	0.15	0.35	0.32
	Jul	0.17	0.52	0.13	0.06	0.22	0.07
	Ogo	0.02*	0.28	0.41	0.51	0.12	0.49
	Sep	0.30	0.83	0.24	0.32	0.42	0.25
	Okt	0.08	0.50	0.04*	0.52	0.49	0.18
	Nov	0.59	0.38	0.19	0.46	0.31	0.47
	Dis	0.10	0.01*	0.34	0.11	0.10	0.02*
Suhu	Jan	0.15	0.09	0.21	0.23	0.55	0.07
	Feb	0.36	0.42	0.29	0.08	<0.001*	0.08
	Mac	0.01*	0.10	0.22	0.08	0.37	0.37
	Apr	0.18	0.65	<0.001*	0.55	0.44	0.13
	Mei	0.29	0.29	0.43	0.38	0.18	0.09
	Jun	0.77	0.04*	0.19	0.39	0.19	0.18
	Jul	0.25	0.18	0.09	0.23	0.17	0.04*
	Ogo	0.39	0.44	0.54	0.00*	0.45	0.55
	Sep	0.23	0.29	0.33	0.44	0.37	0.29
	Okt	0.45	0.34	0.57	0.47	0.09	0.17
	Nov	0.68	0.11	0.48	0.34	0.54	0.67
	Dis	0.34	0.33	0.18	0.17	0.21	0.33

* $p < 0.05$; taburan data adalah normal

UNJURAN HASIL TANAMAN PADI

Hasil simulasi perisian DSSAT 4.8 (Rajah 6) menunjukkan bahawa hasil tanaman padi akan terjejas akibat perubahan iklim dalam tempoh 80 tahun akan datang. Purata hasil (tahunan) dijangka akan berkurangan sekitar 19% pada awal abad; 22% pada pertengahan abad dan 25% pada akhir abad berbanding hasil pada tahun 2021 (4.24 tan/ha) (KPKM 2023) di bawah senario RCP 4.5 (Rajah 6(a)), manakala purata hasil dijangka akan berkurangan sekitar 20% pada awal abad; 23% pada pertengahan abad dan 27% pada akhir abad di bawah senario RCP 8.5 (Rajah 6(b)). Secara amnya, hasil ujian korelasi mendapati terdapat korelasi negatif yang signifikan antara hasil tanaman padi dengan suhu dan taburan hujan bagi musim utama kedua-dua senario (Jadual 6). Justeru, peningkatan suhu dan

perubahan taburan hujan dijangkakan turut menyumbang kepada kemerosotan hasil tanaman padi pada masa akan datang.

Peningkatan suhu persekitaran menjejaskan produktiviti tanaman padi kerana julat suhu ideal bagi tanaman padi adalah sekitar 24 °C hingga 34 °C (Shaidatul et al. 2015). Selain itu, perubahan corak taburan hujan turut memberikan impak negatif terhadap hasil dengan jumlah hujan tahunan yang diperlukan oleh tanaman padi adalah melebihi 2,000 mm setahun (Tan et al. 2021). Perubahan iklim yang turut mengakibatkan berlakunya kejadian banjir dan kemarau menjadi antara cabaran utama bagi Malaysia untuk mengekalkan kadar SSL beras melebihi 65% iaitu keperluan minimum negara (Mahmood, Rajaram & Guinto 2022).

JADUAL 5. Pengkelasan taburan hujan senario RCP 4.5 dan RCP 8.5 berdasarkan Indeks Kerpasan Piawai

Senario iklim	Kategori SPI	Sederhana basah			Sangat basah		Tersangat basah	
RCP 4.5	SPI-1	2064						
		SPI-3	2021	2048	2073	2064		
			2033	2056	2075	2094		
			2035	2062	2079			
			2041	2065	2086			
			2042	2066	2087			
			2045	2067	2089			
			2047	2071	2093			
	SPI-6		2021	2056	2072	2035	2094	
		2030	2057	2073	2064			
		2033	2058	2075	2071			
		2041	2059	2076	2087			
		2042	2062	2078				
		2045	2063	2079				
		2046	2065	2086				
		2047	2066	2089				
		2048	2067	2093				
		2049	2068					
		SPI-12				2021	2057	2076
				2030	2058	2078	2068	
				2033	2059	2079	2094	
				2035	2063	2086		
				2041	2065	2087		
				2042	2066	2088		
				2046	2067	2089		
				2047	2071	2092		
				2048	2072	2093		
				2049	2073			
			2056	2075				
RCP 8.5	SPI-1	2064						
		2071						
		2079						
		2081						
		2084						
		2085						
		2089						
		2098						

bersambung ke halaman seterusnya...

...bersambung dari halaman sebelumnya

SPI-3	2024	2065	2083	2064	2079		
	2029	2067	2086	2071	2085		
	2038	2069	2090	2081			
	2042	2070	2091	2082			
	2049	2072	2093	2089			
	2055	2073	2094	2099			
	2056	2074	2095				
	2059	2078	2097	2098			
SPI-6				2024	2059	2080	2064
				2028	2060	2081	2079
				2029	2063	2082	2085
				2038	2065	2083	2089
				2042	2067	2084	2090
				2043	2069	2086	2099
				2044	2070	2091	
				2045	2071	2092	
				2049	2072	2093	
				2051	2073	2094	
				2054	2074	2095	
				2055	2075	2097	
				2056	2078	2098	
SPI-12				2021	2054	2080	2056
				2024	2058	2082	2064
				2025	2060	2084	2071
				2028	2063	2087	2079
				2029	2065	2091	2081
				2030	2067	2092	2083
				2039	2070	2093	2085
				2043	2072	2094	2086
				2044	2073	2095	2089
				2050	2074	2096	2090
				2051	2075	2097	2099
				2052	2078	2098	

JADUAL 6. Matriks pekali korelasi bagi hasil tanaman padi dengan suhu dan taburan hujan

Senario iklim	Musim	Parameter	Hasil
RCP 4.5	Musim utama	Hasil	-
		Suhu	-5.82*
		Taburan hujan	0.067
	Luar musim	Hasil	-
		Suhu	-0.196
		Taburan hujan	0.105
RCP 8.5	Musim utama	Hasil	-
		Suhu	-0.648*
		Taburan hujan	-0.307*
	Luar musim	Hasil	-
		Suhu	-0.022

* p < 0.01; n = 80

KESIMPULAN

Perubahan iklim memberikan ancaman besar terhadap sektor pengeluaran padi negara seterusnya menimbulkan kebimbangan terhadap isu keselamatan dan keterjaminan makanan kerana beras merupakan makanan ruji penduduk Malaysia. Keadaan iklim yang berubah-ubah, khususnya peningkatan suhu dan perubahan pola taburan hujan memberikan impak negatif yang signifikan terhadap hasil tanaman. Sistem makanan negara sangat rentan terhadap perubahan persekitaran, justeru, golongan yang paling rentan dalam populasi akan berdepan dengan pelbagai isu akibat cuaca ekstrim pada masa akan datang. Oleh itu, suatu reformasi berdasarkan hasil kajian atau isu semasa adalah sangat penting dalam menyusun strategi adaptasi, mitigasi dan pemulihan bagi mengurangkan impak perubahan iklim yang akhirnya menjurus kepada kehidupan lestari. Hasil kajian ini dapat menyumbang data dan maklumat penting yang diperlukan oleh para penyelidik dan penggubal dasar dalam usaha untuk membangunkan strategi adaptasi dan mitigasi yang bersesuaian untuk mengurangkan impak perubahan iklim pada masa akan datang.

RUJUKAN

- Asfaw, A., Simane, B., Hassen, A. & Bantider, A. 2018. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. *Weather and Climate Extremes* 19: 29-41.
- Benton, T.G., Castro, D.L.M.G., Fanzo, J., Guinto, R., Hendriks, S.L. & Montgomery, H. 2022. Food security and health in a changing environment: Recognizing and mitigating risks, Doha, Qatar: World Innovation Summit for Health <https://2022.wish.org.qa/wp-content/uploads/2022/09/Climate-change-food-security-and-health.pdf>
- DOSM. 2024. Department of Statistic Malaysia Official Portal, Department of Statistics, Malaysia. <https://www.dosm.gov.my/>. Diakses pada 30 Januari 2024.
- DOA. 2022. *Rice Check Padi*. Jabatan Pertanian Malaysia. https://www.doa.gov.my/doa/resources/aktiviti_sumber/sumber_awam/penerbitan/pakej_teknologi_padi/rice_check_padi_2022.pdf. Diakses pada 15 Januari 2024.
- Enayati, M., Bozorg-Haddad, O., Bazrafshan, J., Hejabi, S. & Chu, X. 2021. Bias correction capabilities of quantile mapping methods for rainfall and temperature variables. *Journal of Water and Climate Change* 12(2): 401-419.
- Farhan, M., Moazzam, U., Rahman, G., Munawar, S., Tariq, A., Safdar, Q. & Lee, B. 2022. Trends of rainfall variability and drought monitoring using standardized precipitation index in a scarcely gauged basin of Northern Pakistan. *Water* 14(7): 1132.
- Griddings, L., Soto, M., Rutherford, B.M. & Maarouf, A. 2005. Standardized precipitation index zones for Mexico. *Atmosfera* 18: 33-56.
- Hamzah, F.M., Saimi, F.M.S. & Jaafar, O. 2017. Identifying the monotonic trend in climate change parameter. *Sains Malaysiana* 46(10): 1735-1741.
- Hoogenboom, G. & Jones, J.W. 2023. *Development and Evolution of the DSSAT Cropping System Model for Local to Global Applications* [Abstract]. ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting, St. Louis, MO. <https://scisoc.confex.com/scisoc/2023am/meetingapp.cgi/Paper/150582>
- Husin, M.M. 2023. Sasar capai Kadar Sara Diri beras negara 75 peratus pada 2025. *Sinar Harian*. 9 Oktober.

- KPKM. 2023. *Perangkaan Agromakanan 2022*. Kementerian Pertanian dan Keterjaminan Makanan. <https://www.kpkm.gov.my/bm/penerbitan/perangkaan-agromakanan>. Diakses pada 15 Mac 2024.
- Mohd, B.Z., Nurul, A.A.A.K. & Juairiah, H. 2021. Analisis bekalan beras di Malaysia pasca COVID-19 menurut perspektif fiqh pertanian. *Jurnal Islam dan Masyarakat Kontemporari* 22(3): 38-47.
- Mahmood, J., Rajaram, N.N. & Guinto, R.R. 2022. Addressing food insecurity and climate change in Malaysia: Current evidence and ways forward. *Malaysia Journal of Medical Science* 29(6): 1-5.
- Naven, L., Sosu, E., Egan, S. & Spencer, J. 2019. The influence of poverty on children's school experiences: Pupils' perspectives. *Journal of Poverty and Social Justice* 27(3): 313-331.
- Ninu Krishnan, M.V., Prasanna, M.V. & Vijith, H. 2020. Trend characteristics of rainy days and evaporation at a tropical rainforest region in east Malaysia, Borneo. *Earth Sciences Research Journal* 24(3): 305-315.
- NRES. 2024. *Malaysia's Fourth National Communication Report (NC4) under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ministry of Natural Resources and Environmental Stability. <https://unfccc.int/documents/638313>. Diakses pada 28 Februari 2024.
- Oduor, B.O., Campo-Bescós, M.Á., Lana-Renault, N. & Casali, J. 2023. Effects of climate change on streamflow and nitrate pollution in an agricultural Mediterranean watershed in Northern Spain. *Agricultural Water Management* 285: 108378.
- Saimi, F.M., Hamzah, F.M., Toriman, M.E., Jaafar, O. & Tajudin, H. 2020. Trend and linearity analysis of meteorological parameters in Peninsular Malaysia. *Sustainability* 12: 9533.
- Sarkar, R. 2006. Evaluation of management strategies for sustainable rice-wheat cropping system, using DSSAT seasonal analysis. *Journal of Agricultural Science* 144(5): 421-434.
- Shaidatul Azdawiyah, A.T., Wan Mohd Razi, I., Ju Neng, L., Tukimat, L., Muhammad Zamir, A.R. & Mohd Aziz, R. 2024. Irregularity and time series trend analysis of rainfall in Johor, Malaysia. *Heliyon* 10(9): e30324.
- Shaidatul Azdawiyah, A.T., Muhamad Hafiz, M.H., Mohd Aziz, R., Zul Helmey, M.S., Muhammad Zamir, A.R., Wan Mahfuzah, W.I., Mohammad Hariz, A.R., Mohd Ghazali, R., Syarol Nizam, A.B. & Mohd Alif, O.M. 2020. Effects of environmental temperature and precipitation pattern on growth stages of *Magnifera indica* cv. Harumanis mango. *Journal of Agricultural Science* 12(12): 26-31.
- Shaidatul Azdawiyah, A.T., Mohammad Hariz, A.R., Mohd Fairuz, M.S. & Mohamad Zabawi, A.G. 2015. Simulating the effects of changing planting date towards rice production in MADA area, Malaysia. *Journal of Agriculture and Food Science* 43(1): 73-82.
- Shoukat, A.S. & Madeeha, K. 2021. Mann-Kendall test: Trend analysis of temperature, rainfall, and discharge of Ghotki feeder canal in district Ghotki, Sindh, Pakistan. *Environment & Ecosystem Science* 5(2): 137-142.
- Tan, B.T., Fam, P.S., Firdaus, R.B.R., Tan, M.L. & Gunaratne, M.S. 2021. Impact of climate change on rice yield in Malaysia: A panel data analysis. *Agriculture* 11(6): 569.
- Tan, M.L., Chua, V.P., Li, C. & Brindha, K. 2019. Spatiotemporal analysis of hydro-meteorological drought in the Johor River Basin, Malaysia. *Theoretical and Applied Climatology* 135(3-4): 825-837.
- Tian, Q., Prange, M. & Merkel, U. 2016. Precipitation and temperature changes in the major Chinese river basins during 1957 - 2013 and links to sea surface temperature. *Journal of Hydrology* 536: 208-221.
- Wahab, A.A. 2023. Menyemai inisiatif keterjaminan makanan yang lebih dinamik. *Bernamea* https://akademik.upm.edu.my/article/menyemai_inisiatif_keterjaminan_makanan_yang_lebih_dinamik-82509

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: azdawiyah87@gmail.com