

Penggunaan kaedah simulasi suhu tinggi dan kemarau untuk menilai kesan fenomena El-Niño terhadap fisiologi pembungaan dan hasil padi

(High temperature and drought simulation method to assess the effects of the El-Niño phenomenon on flowering physiology and rice yield)

Fauzi Jumat dan Che Radziah Che Mohd Zain

Kata kunci: El-Niño, fisiologi pembungaan, kemarau, pembungaan, suhu tinggi

Pengenalan

Padi (*Oryza sativa* L.) dipercayai berasal dari kawasan Lembah Sungai Yangtze di China sekitar 10,000 tahun yang lalu. Dari sana, tanaman ini berkembang secara berperingkat ke seluruh pelosok dunia dan kini tersenarai sebagai salah satu daripada tiga tanaman utama global bersama gandum dan jagung. Sebagai tanaman ruji, padi memainkan peranan penting dalam menjamin keselamatan makanan kepada lebih daripada tujuh bilion penduduk dunia, khususnya di rantau Asia yang beriklim panas dan lembap yang menyediakan persekitaran yang amat sesuai bagi pertumbuhannya.

Namun begitu, perubahan iklim global yang semakin ketara, khususnya peningkatan suhu, telah mencetuskan kebimbangan besar terhadap kelestarian pengeluaran padi. Fenomena panas melampau yang sering dikaitkan dengan kejadian El-Niño (keadaan pemanasan alam sekitar yang ekstrem dan melebihi purata suhu semasa permukaan laut) menyumbang kepada kemarau berpanjangan serta tekanan haba dan kekurangan air terhadap tanaman.

Data daripada Pertubuhan Makanan dan Pertanian Bangsa-Bangsa Bersatu (FAO) – Sistem Indeks Tekanan Pertanian (ASIS) mendedahkan bahawa dari tahun 1950 hingga 2016, kejadian El-Niño menunjukkan corak peningkatan yang lebih kerap berbanding dengan La Niña (fenomena keadaan udara lembap, hujan lebat dan banjir) atau fasa neutral. Justeru, El-Niño dikenal pasti sebagai pemangkin kepada suhu tinggi yang boleh mencetuskan kemarau dan memberi ancaman serius terhadap sektor pertanian, khususnya tanaman padi.

Di Malaysia, suhu purata menunjukkan peningkatan setiap dekad iaitu sebanyak 0.25 °C di Semenanjung Malaysia, 0.20 °C di Sabah dan 0.14 °C di Sarawak. Pada tahun 1972, 1991 dan 1997 – 1998 mencatatkan suhu tertinggi dengan kemuncaknya pada 2015 – 2016 yang turut menyaksikan kejadian El-Niño paling ekstrem dalam sejarah negara. Pada tempoh tersebut, suhu persekitaran boleh mencecah antara 38 – 40 °C. Namun, apabila suhu melepasi 35 °C, pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi boleh terganggu. Dalam tempoh 45 tahun terakhir, El-Niño berlaku dengan lebih kerap pada tahap yang membimbangkan.

Menjelang masa depan, perubahan iklim dijangka menjadi faktor utama penyumbang kepada penurunan hasil padi. Tekanan abiotik berpunca daripada kekurangan air serta suhu tinggi yang sering berlaku serentak ketika El-Niño memberi kesan negatif kepada pertumbuhan tanaman. Oleh itu, artikel ini membentangkan penemuan mengenai kesan suhu tinggi dan kemarau terhadap fasa pembungaan padi melalui aplikasi kaedah simulasi dan aruhan seperti fenomena El-Niño serta mengemukakan langkah-langkah adaptasi untuk mengurangkan kerugian kepada petani dalam industri padi negara.

Keperluan alat bagi simulasi suhu tinggi dan aruhan kemarau

Fenomena El-Niño merupakan kejadian iklim global yang tidak berlaku setiap tahun, tetapi kemunculannya dapat diramalkan melalui analisis corak anomali suhu permukaan laut dan unjuran suhu global. Walau bagaimanapun, penentuan kesan langsung terhadap fisiologi tanamannya terutamanya perubahan iklim mikro dan tindak balas fenologi adalah kompleks memandangkan unjuran tersebut bersifat kebarangkalian. Justeru, pendekatan simulasi dan aruhan persekitaran menyediakan kaedah yang lebih terkawal serta berulang untuk menilai impak El-Niño terhadap padi, khususnya semasa peringkat pembungaan yang sensitif terhadap tekanan haba dan kekurangan air.

Fasa pembungaan padi dikenal pasti sebagai peringkat paling terdedah kerana tekanan cuaca pada tempoh ini boleh menyebabkan kemandulan spikelet sehingga menjejaskan penghasilan biji padi dan mengurangkan hasil tuaian secara ketara. Bagi tujuan aruhan suhu tinggi, kebuk pertumbuhan terkawal (fitotron) jenis *Daihan® SWGC-1000 Plant Growth Chamber* (Korea) digunakan [Gambar 1(a)]. Sementara itu, bagi aruhan kemarau, kelembapan tanah diukur menggunakan meter kelembapan tanah (*Spectrum FIELD Scout TDR 150*) [Gambar 1(b)] dan tekanan air tanah dipantau menggunakan tensiometer (*Irrrometer, Model SR, 0–100 kPa*) [Gambar 1(c)].



Gambar 1.(a) Kebuk fitotron digunakan untuk simulasi suhu tinggi terhadap sampel tanaman padi, (b) Alat meter kelembapan tanah bagi aruhan kemarau dan (c) Tensiometer untuk penentuan tekanan air dalam tanah semasa tegasan air dikenakan kepada sampel tanaman padi

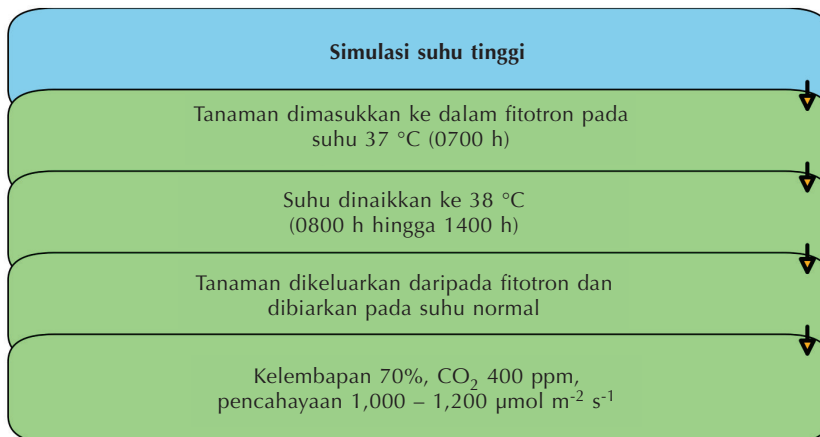
Kaedah penyediaan tanah bagi penanaman padi untuk simulasi suhu tinggi dan kemarau

Pemilihan tanah sawah adalah penting untuk mengekalkan corak pertumbuhan tanaman yang menyerupai keadaan sebenar penanaman padi di sawah, khususnya dengan mengekalkan kandungan air tanah melebihi 30%. Tanah yang sesuai untuk padi perlu mempunyai nilai pH sekitar 5.5 dengan kapasiti pertukaran kation (KPK) sebanyak $17 \text{ cmol}^+\text{kg}^{-1}$. Tanah dimasukkan ke dalam bekas tanaman berukuran 30 cm diameter dan 45 cm tinggi, iaitu saiz yang sesuai bagi pertumbuhan padi berdasarkan kedalaman lapisan keras (zon sesuai bagi akar padi) dalam sawah.

Varieti padi MR 253 digunakan bagi simulasi kerana varieti ini rintang penyakit karah yang boleh menjejaskan keputusan kajian hasil. Siraman dilakukan setiap hari dengan memastikan aras air berada 4 – 5 cm dari permukaan tanah (kira-kira 500 mL sehari). Penjagaan tanaman turut melibatkan pembajaan tiga kali berpandukan panduan Padi Lestari MARDI dengan kadar 120 kg nitrogen (N), 70 kg fosfat (P_2O_5) dan 80 kg kalium (K_2O) bagi setiap hektar kawasan penanaman.

Simulasi suhu tinggi

Simulasi tekanan suhu dilaksanakan menggunakan kebuk pertumbuhan terkawal (fitotron) [*Gambar 1(a)*] untuk meniru keadaan suhu tinggi semasa El-Niño dengan suhu sasaran 38°C . Proses simulasi dijalankan selama tiga hingga lima hari bergantung pada tempoh berlakunya anthesis (*Carta alir 1*). Tanaman padi dimasukkan ke dalam kebuk fitotron bermula jam 0700 pada suhu permulaan 37°C selama satu jam. Seterusnya suhu dinaikkan kepada 38°C dan dikekalkan sehingga jam 1400. Selesai tempoh ini, tanaman dipindahkan keluar dan ditempatkan semula dalam persekitaran normal. Sepanjang tempoh simulasi, kelembapan relatif dikawal pada 70%, manakala kepekatan karbon dioksida (CO_2) ditetapkan pada 400 ppm. Pencahayaan dalam kebuk dikekalkan pada $1,000 - 1,200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ dan dilaraskan secara berperingkat bagi meniru pola pencahayaan semula jadi di sawah (*Carta alir 1*).

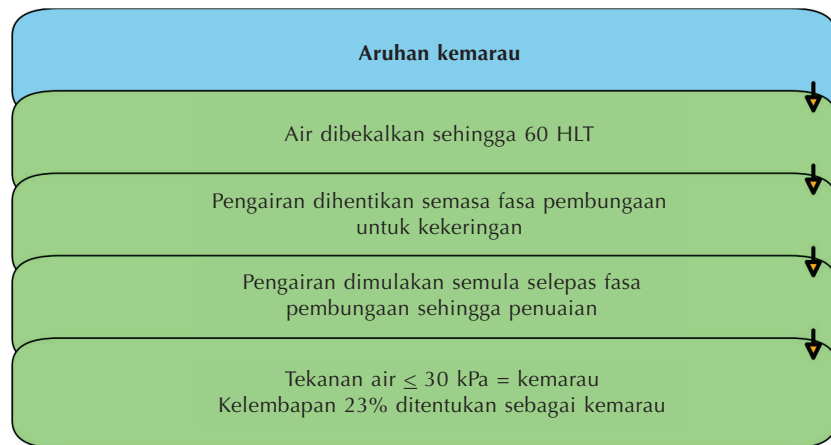


Carta alir 1. Proses simulasi suhu tinggi menggunakan kebuk fitotron

Aruhan kemarau

Bagi aruhan kemarau, tanaman padi dibekalkan air sehingga mencapai usia 60 hari selepas tabur (HLT). Selepas tempoh tersebut, pengairan dihentikan bagi membolehkan tanah mengalami kekeringan semasa fasa pembungaan. Air dibekalkan semula sehingga peringkat penuaian selepas tamat fasa antesis.

Tahap tekanan air tanah dipantau sejak awal penanaman menggunakan tensiometer [*Gambar 1(c)*] yang dipasang sehingga ke dasar bekas tanaman bagi memastikan bacaan tepat. Nilai tekanan tanah ≤ 30 kPa digunakan sebagai ambang keadaan kemarau. Kelembapan tanah turut diukur menggunakan meter kelembapan tanah [*Gambar 1(b)*] dengan bacaan 23% sebagai aras kritikal untuk kemarau [*Carta alir 2*]. *Jadual 1* merumuskan kaedah simulasi suhu tinggi dan aruhan kemarau untuk menilai kesan fenomena El-Niño terhadap fisiologi pembungaan dan hasil padi.



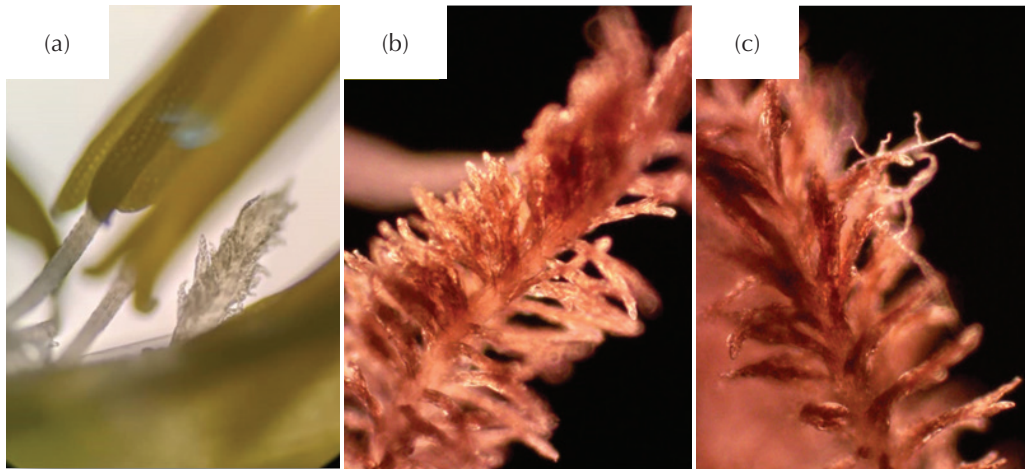
Carta alir 2. Proses aruhan kemarau yang dilakukan kepada tanaman padi

Kesan simulasi suhu tinggi dan kemarau terhadap fisiologi pembungaan dan hasil padi

Pada hari pertama, stigma padi masih mengekalkan morfologi yang hampir normal walaupun suhu tinggi dan aruhan kemarau menunjukkan sedikit perubahan warna keperangan. Menjelang hari kedua, hanya stigma dalam persekitaran normal mengekalkan struktur asal. Stigma kumpulan aruhan kemarau menunjukkan tanda-tanda kekeringan dan lebih gelap, manakala stigma kumpulan suhu tinggi mula melentur dan menggulung seperti mengalami degradasi struktur. Pada hari ketiga, kemerosotan semakin ketara terutamanya dalam kumpulan aruhan kemarau, manakala stigma kumpulan suhu tinggi tetap menunjukkan perubahan struktur akibat tekanan haba walaupun tidak rosak sepenuhnya (*Gambar 2*).

Jadual 1. Ringkasan simulasi suhu tinggi dan aruhan kemarau

Parameter	Simulasi suhu tinggi	Aruhan kemarau
Objektif	Meniru keadaan suhu tinggi semasa El-Nino fasa antesis pada pembungaan padi	Menunjukkan kesan tegasan air
Peralatan	Kebuk fitotron (<i>Daihan® SWGC-1000 Plant Growth Chamber</i>)	• Tensiometer (Irrrometer-Model SR, 0 – 100 kPa) • Meter kelembapan tanah (<i>Spectrum FieldScout – TDR 150</i>)
Suhu/pengairan	• Jam 0700: Tanaman diletakkan pada 37 °C selama 1 jam • Suhu dinaikkan dan dikekalkan pada 38 °C (jam 0800 – 1400)	• Pengairan diberikan sehingga 60 hari selepas tabur (HLT) • Air dihentikan semasa fasa pembungaan • Air dibekalkan semula selepas fasa pembungaan sehingga tuaian
Tempoh	3 – 5 hari mengikut tempoh antesis	• Tempoh kekeringan berlaku semasa fasa pembungaan • Pemantauan berterusan dilakukan melalui pengukuran tekanan dan kelembapan tanah
Kawal selia parameter lain	• Kelembapan relatif: 70% • Kepekatan CO₂: 400 ppm • Cahaya: 1,000 – 1,200 µmol m⁻²s⁻¹ dengan peningkatan berperingkat bagi meniru keadaan semula jadi di sawah	• Tekanan air tanah diukur dengan tensiometer (nilai ≤ 30 kPa dianggap sebagai keadaan kemarau) • Kadar kelembapan tanah diukur menggunakan meter kelembapan tanah (bacaan 23% dianggap sebagai aras kemarau)

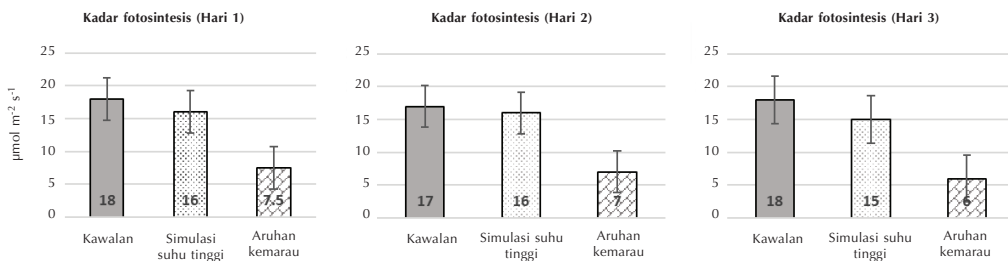


Gambar 2. (a) Stigma dalam persekitaran normal, (b) Stigma bagi tanaman kekurangan air dan (c) Stigma bagi tanaman terdedah kepada suhu tinggi 38 °C

Selari dengan keadaan stigma, persekitaran normal menunjukkan kehadiran debunga yang bernas manakala rawatan suhu tinggi dan aruhan kemarau memperlihatkan debunga yang tidak subur. Debunga dalam persekitaran normal turut mencatatkan kadar kebernasan melebihi 60 – 75% berbanding dengan rawatan suhu tinggi dan aruhan kemarau yang mencatatkan kadar kebernasan di bawah 5%.

Selain itu, tanaman dalam kumpulan aruhan kemarau menunjukkan penurunan kadar fotosintesis yang ketara berbanding dengan kumpulan suhu tinggi. Kekurangan air pada peringkat pembungaan menyebabkan pokok berada dalam tekanan fisiologi yang tinggi, sekali gus menurunkan keupayaan fotosintesis secara signifikan (*Rajah 1*).

Disebabkan simulasi suhu tinggi dan aruhan kemarau dikenakan pada peringkat berbunga, sebahagian besar panikel menjadi kurang subur dan peratusan bijirin terisi menurun. Tegasan air akibat aruhan kemarau pada peringkat ini boleh mengganggu permulaan pembukaan floret sehingga menyebabkan kemandulan spikelet dan pengisian bijirin yang lemah. Keadaan ini akhirnya mengurangkan berat bijian dan seterusnya menjejaskan hasil padi (*Jadual 2*). Oleh itu, tegasan air akibat aruhan kemarau memberi kesan yang lebih besar terhadap penurunan hasil padi berbanding dengan tekanan suhu tinggi (*Jadual 2*).



Rajah 1. Kadar fotosintesis sangat rendah pada tanaman dalam keadaan kemarau disebabkan penutupan liang stomata yang mengehadkan kadar pertukaran gas dalam proses fotosintesis

Jadual 2. Perbandingan hasil tuaian padi dengan simulasi suhu tinggi dan aruhan kemarau

Keadaan	Tan/hektar
Persekitaran normal	5.60 ^a
Simulasi suhu tinggi	1.90 ^b
Aruhan kemarau	1.10 ^c

Kesimpulan

Fenomena El-Niño melalui peningkatan suhu dan kemarau memberi kesan negatif terhadap fisiologi pembungaan padi, khususnya pada varieti MR 253. Simulasi suhu tinggi (38 °C) dan aruhan kemarau menunjukkan penurunan drastik pada kebernasan debunga serta kerosakan struktur stigma yang seterusnya mengurangkan peratusan bijirin terisi dan hasil tuaian. Tekanan akibat kemarau memberikan kesan yang lebih ketara terhadap penurunan kadar fotosintesis dan hasil padi berbanding dengan tekanan haba. Penemuan ini menekankan kepentingan pemantauan iklim mikro dan keperluan adaptasi tanaman padi. Dengan ramalan cuaca yang lebih tepat serta pemahaman tentang tindak balas padi terhadap perubahan cuaca, langkah pencegahan dan penyesuaian boleh dirancang lebih awal. Antaranya termasuk pemilihan varieti lebih tahan, pelarasan jadual penanaman dan penggunaan sistem pengairan yang lebih cekap. Simulasi ini turut menyerlahkan keperluan langkah mitigasi yang lebih berkesan dalam sektor pertanian negara berikutan perubahan iklim yang semakin ekstrem dan kekerapan fenomena El-Niño agar kelangsungan pengeluaran padi dan keselamatan makanan terus terjamin.

Penghargaan

Penulis merakamkan penghargaan kepada Encik Mohd Alif Omar Mustaffa, Encik Ghazali Rusli, Encik Nizam Abu Bakar, Puan Syuhaida Abu Bakar, Encik Mohd Firdaus Abd Wahab dan Puan Rashidah Abd Malek atas bantuan sepanjang kajian dijalankan.

Bibliografi

- Alam, M., Siwar, C., Talib, B., & Toriman, M. E. (2014). Impacts of climatic changes on paddy production in Malaysia: Micro study on IADA at North West Selangor. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 6(5), 251–258.
- Horie, T. (2019). Global warming and rice production in asia: modeling, impact prediction and adaptation. Japan Academy.
- Jagadish, S. V. K., Raveendran, M., Oane, R., Wheeler, T. R., Heuer, S., Bennett, J., & Craufurd, P. Q. (2010). Physiological and proteomic approaches to address heat tolerance during anthesis in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, 61(1), 143–156.
- Krishnan, P., Ramakrishnan, B., Reddy, K. R., & Reddy, V. R. (2011). High-temperature effects on rice growth, yield, and grain quality. *Advances in Agronomy*.

- Rahman, H. A. (2018). Climate change scenarios in Malaysia: Engaging the public. *International Journal of Malay-Nusantara Studies*, 1(2), 55–77.
- Rang, Z. W., Jagadish, S. V. K., Zhou, Q. M., Craufurd, P. Q., & Heuer, S. (2011). Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in rice. *Environmental and Experimental Botany*, 70(1), 58–65.
- Zain, N. A. M., Ismail, M. R., Mahmood, M., Puteh, A. & Ibrahim, M. H. (2014). Alleviation of water stress effects on MR 220 Rice by application of periodical water stress and potassium fertilization. *Molecules*, 19(2), 1795–1819.

Ringkasan

El-Niño ialah fenomena iklim global yang menyebabkan peningkatan suhu permukaan laut, kemarau berpanjangan dan tekanan haba yang memberi kesan serius kepada pertanian tropika seperti di Asia Tenggara. Di Malaysia, suhu meningkat secara konsisten dan rekod tertinggi dicatat pada 2015 – 2016 dengan suhu mencecah 40 °C. Simulasi suhu tinggi dan aruhan kemarau ini bertujuan menilai kesan tekanan suhu dan kekurangan air terhadap stigma, debunga, kadar fotosintesis dan hasil padi semasa fasa pembungaan. Kajian ini juga menjimatkan masa melalui simulasi yang menyerupai kesan sebenar El-Niño tanpa perlu menunggu kejadian sebenar berlaku. Menggunakan varieti MR 253, suhu 38 °C dan kemarau menunjukkan penurunan kebarasan debunga, degradasi stigma dan pengurangan hasil, terutamanya dalam kumpulan kemarau (1.10 t/ha). Penutupan stomata akibat kemarau turut menjejaskan fotosintesis. Secara keseluruhan, tegasan air lebih memudaratkan daripada tekanan haba, sekali gus menekankan keperluan varieti tahan stres serta strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim dalam pengeluaran padi.

Summary

El Niño is a global climate anomaly characterised by rising sea surface temperatures, which can lead to drought and heat stress, particularly in tropical agricultural regions such as Southeast Asia. In Malaysia, rising average temperatures peaked during the 2015 – 2016 El-Niño event, reaching up to 40 °C. The high-temperature and drought simulations were designed to assess effects on stigma integrity, pollen viability, photosynthesis and rice yield during flowering, while enabling controlled experimentation that replicates real El-Niño conditions. Using the MR 253 variety, 38 °C heat and drought stress led to degraded stigma, poor pollen viability, reduced photosynthesis, and lower yield, especially under drought (1.10 t/ha). Water stress proved more detrimental than heat stress, underscoring the need for stress-resilient varieties and proactive adaptation measures in rice production.

Pengarang

Fauzi Jumat

Pusat Penyelidikan Agrobiodiversiti dan Persekitaran, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor
E-mel: fauzi@mardi.gov.my

Che Radziah Che Mohd Zain (Dr.)

Fakulti Sains dan Teknologi, Jabatan Sains Biologi dan Bioteknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor