



Proyeksi Serangan Penyakit Blas pada Tanaman Padi di Provinsi Jawa Barat berdasarkan Skenario Perubahan Iklim

Projection of Rice Blast Diseases in West Java Region based on Climate Change Scenario

Aji Irsyam N. Sukarta^{*}, Yon Sugiarto dan Yonny Koesmaryono

Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 May 2018

Received in revised form 3 October 2018

Accepted 8 November 2018

doi: 10.29244/j.agromet.32.2.62-70

Keywords:

Area under disease progress curve

EPIRICE model

Epidemiology model

Global climate scenario

Potential disease simulation

ABSTRACT

Rice production in Indonesia has faced many challenges including disease outbreak leading to crop failure. Blast is a common disease, which is often found in paddy, that able to inhibit its growth and development. Here, we present simulation modeling to predict blast outbreak under climate change projection scenario in west Java, Indonesia. Two climate projections namely RCP4.5 and RCP8.5 were employed as input for EPIRICE epidemiological model. With this model we analysed the potency of blast outbreak for 2021-2050. Then we compared the area of the projected blast with the output from current climate condition (1996-2005, as a baseline). Our results show that the potency of blast outbreak was in a low level under baseline. The area indicating a low level of outbreak was observed for both climate projections. Our findings revealed that a decreasing trend on the outbreak is expected for 2021-2050. However, an increased number of area having blast outbreak was observed especially in mountains region as many of 2%.day and 6%.day for RCP4.5 and RCP8.5, respectively.

PENDAHULUAN

Tanaman padi (*Oryza sativa*) merupakan tanaman pangan utama bagi penduduk di Indonesia dengan tingkat produktivitas berkisar 1.64-5.59 ton/ha dalam satu kali masa panen (Panuju et al., 2013). Kebutuhan padi diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk (Muthayya et al., 2014). Peningkatan kebutuhan tersebut tidak diikuti dengan peningkatan produktivitas tanaman padi. Kegiatan produksi padi sering mengalami gagal panen akibat faktor alamiah termasuk kekeringan (Li et al., 2015), banjir (Kotera et al., 2016), dan serangan hama/penyakit tanaman (Bottrell and Schoenly, 2012; Zhou et al., 2013).

Serangan penyakit pada tanaman padi sering dijumpai di Indonesia (Asfarian et al., 2013), terutama pada kondisi lembab. Penyakit yang umum dijumpai yaitu penyakit blas pada tanaman padi yang disebabkan oleh jamur *Pyricularia grisea*, yaitu jamur ras baru yang mampu beradaptasi dengan kondisi sawah irigasi (Sudir et al., 2014). Penyakit ini sangat agresif karena mampu menyerang tanaman padi pada semua fase. Pada fase vegetatif, patogen akan menyerang bagian daun. Sedangkan pada fase

generatif, patogen akan menyerang leher malai padi, dan menginfeksi bulir gabah (*seed-borne*). Gabah yang mengandung patogen menghasilkan tanaman padi yang terinfeksi penyakit blas. Serangan penyakit blas menyebabkan penurunan produksi padi sebanyak 5-10% di India pada tahun 1960, 8% di Korea Selatan pada pertengahan 1970-an, 14% di Cina pada tahun 1980, dan terparah sebanyak 70-85% di Filipina pada tahun 1970 (Wang et al., 2014). Selain penurunan produksi, penyakit blas memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, dan berpengaruh terhadap kesejahteraan petani (Nalley et al., 2016).

Infeksi dan pertumbuhan jamur patogen penyakit blas mencapai optimum pada kondisi suhu udara 25-28°C (Yulianto, 2017). Akan tetapi, berbagai penelitian yang telah dilakukan lebih cenderung bertujuan untuk mengembangkan benih tanaman padi yang resisten terhadap jamur penyebab penyakit blas (Ashkani et al., 2015; Miah et al., 2013; Roychowdhury et al., 2012), dan teknik budidaya seperti penggunaan pestisida (Sudir et al., 2014; Yulianto, 2017). Perubahan pada suhu udara akan berpengaruh pada penyebaran jamur patogen penyebab blas, sehingga perubahan yang signifikan pada kondisi lingkungan (termasuk iklim) dapat berpengaruh terhadap sebaran

^{*} Corresponding author: aji.ixb@gmail.com , ajiirsyamsukarta@gmail.com

Prosedur Perhitungan dalam Model EPIRICE dan Analisis Data

Data yang digunakan sebagai input dalam model EPIRICE meliputi data spasial suhu udara rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum, kelembaban relatif (RH), curah hujan, dan tanggal ketika semai benih padi dilakukan. Komponen perhitungan terpenting dalam model EPIRICE, yaitu laju infeksi penyakit dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$RI = R_c I C^a \quad (1)$$

dimana RI adalah laju infeksi (individu/hari), R_c laju infeksi dasar (individu/hari), I jumlah individu yang terkena penyakit pada suatu lahan, C proporsi jumlah individu sehat terhadap jumlah total individu, a koefisien agregasi penyakit. Komponen laju infeksi dasar (R_c) merupakan komponen yang memperhitungkan pengaruh iklim. Kondisi nyata iklim yang sangat kompleks, kemudian disederhanakan menjadi beberapa parameter saja yang dianggap sangat berpengaruh terhadap penyakit blas (Savary et al., 2012). Suhu dianggap hanya mempengaruhi nilai R_c , sedangkan RH dan curah hujan dianggap hanya menyebabkan kebasahan kanopi. Besar laju infeksi dasar dapat dikalkulasi menggunakan Persamaan (2).

$$R_c = R_{cOpt} \times R_{cA} \times R_{cT} \times R_c \quad (2)$$

dimana R_{cOpt} adalah laju infeksi dasar berdasarkan varietas, R_{cA} laju infeksi dasar berdasarkan umur tanaman, R_{cT} laju infeksi dasar berdasarkan suhu, R_{cW} laju infeksi dasar berdasarkan kebasahan kanopi. Nilai input tiap parameter mengacu pada penelitian Kim et al. (2015). Unit pada Persamaan (2) yaitu individu/(individu/hari).

Hasil akhir luaran model EPIRICE adalah tingkat keparahan penyakit blas (*disease severity*) yang menginfeksi suatu lahan. Nilai keparahan (y) dapat dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$y = \frac{D-R}{TS-R} \times 100 \quad (3)$$

dimana y keparahan penyakit (%), D jumlah individu yang terserang patogen, R jumlah individu pasca pasca-penularan, TS jumlah total individu. Akumulasi dari nilai keparahan untuk tiap hari menghasilkan *Area Under Disease Progress Curve* (AUDPC). Kurva tersebut mampu menggambarkan perkembangan epidemi penyakit blas yang menyerang tanaman padi pada periode satu masa tanam. Analisis pengaruh perubahan iklim dilakukan dengan menghitung selisih nilai AUDPC rata-rata pada periode baseline (1996-2005) dengan periode proyeksi masa depan (2021-2050), secara matematis disajikan pada Persamaan (4).

$$\Delta AUDPC = \overline{AUDPC_{proyeksi}} - \overline{AUDPC_{baseline}} \quad (4)$$

Evaluasi Model EPIRICE

Evaluasi model EPIRICE dilakukan dengan membandingkan nilai keparahan dari hasil model dengan nilai keparahan penyakit blas hasil observasi yang dilakukan oleh Zulaika (2017) di Kabupaten Subang. Data observasi dihimpun dari dua lokasi dengan ketinggian yang berbeda, yaitu Kecamatan Sukamandi (<250 mdpl) dan Kecamatan Cisalak (500-750 mdpl). Pada penelitian ini, analisis dengan perbedaan ketinggian lokasi dilakukan untuk mengidentifikasi perbedaan serangan penyakit pada dua lokasi yang

memiliki perbedaan suhu. Terdapat lima varietas yang diuji pada masing-masing lokasi. Varietas yang diuji di Kecamatan Sukamandi meliputi IR64, Situbagendit, Sintanur, Inpara 3, dan Mekongga. Sedangkan di Kecamatan Cisalak terdiri dari IR77, Unggul, Cibentang, Agay, dan Ciherang. Kemampuan model EPIRICE dalam mensimulasikan keparahan penyakit blas diukur dengan parameter statistik *root mean square error* (RMSE) dan korelasi *pearson* (r). RMSE merupakan indikator statistik yang umum digunakan untuk mengukur perbedaan (*error*) dari hasil model terhadap hasil observasi pada bidang penelitian iklim (Chai and Draxler, 2014). Analisis korelasi merupakan metode statistika yang biasa digunakan untuk melihat derajat hubungan linear antara dua peubah atau lebih. Nilai korelasi berkisar antara -1 hingga 1. Tanda positif menunjukkan bahwa hubungan kedua peubah adalah berbanding lurus, sedangkan tanda negatif menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik. Hubungan dua variabel semakin lemah jika nilai mendekati 0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

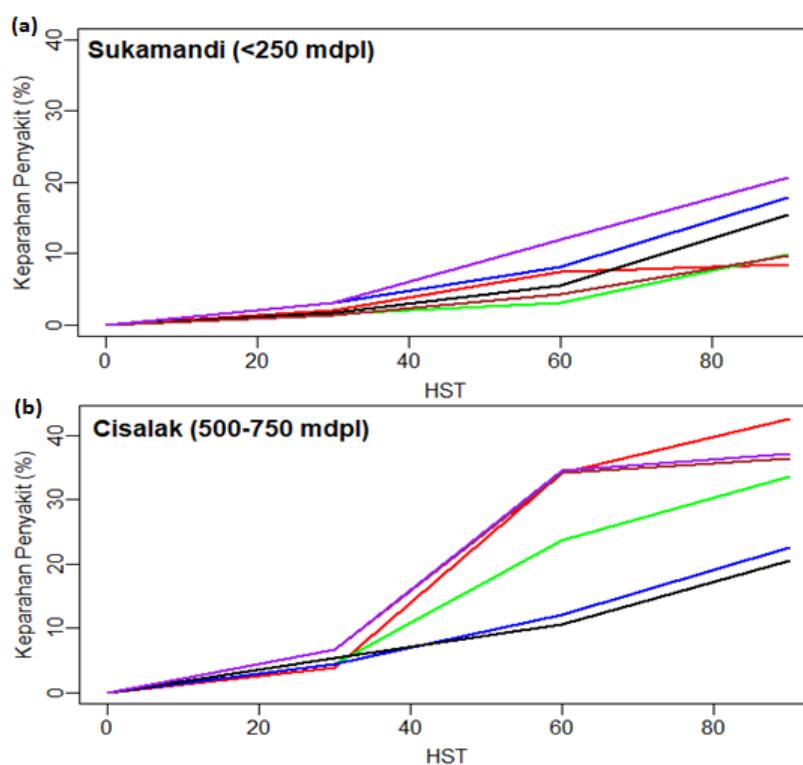
Evaluasi Model EPIRICE

Berdasarkan hasil model EPIRICE, penyakit blas berkembang dengan tingkat keparahan yang berbeda pada tiap varietas padi yang diuji. Secara visual, grafik estimasi keparahan penyakit blas yang paling sesuai dengan hasil observasi terjadi pada varietas IR64 dan Situbagendit untuk lokasi Kecamatan Sukamandi (Gambar 2a), sedangkan varietas Ciherang dan Agay untuk lokasi Kecamatan Cisalak. Pada varietas lain, luaran model menunjukkan perbedaan yang besar karena kemampuan resistansi setiap varietas terhadap penyakit blas berbeda-beda. Ketidaksesuaian antara hasil observasi dengan luaran model ini menunjukkan bahwa dibutuhkan parameterisasi terhadap parameter resistansi varietas (R_c) yang ada dalam model EPIRICE.

Berdasarkan analisis indikator statistik (Tabel 1), hasil simulasi model yang paling baik (nilai RMSE paling mendekati 0) terjadi pada varietas Situbagendit (2.05) untuk lokasi Kecamatan Sukamandi, dan varietas Ciherang (3.58) untuk lokasi Kecamatan Cisalak. Sedangkan analisis nilai korelasi menunjukkan bahwa hasil model pada semua varietas memiliki hubungan linear yang baik (lebih dari 0.7) dengan data observasi. Korelasi tertinggi terjadi pada simulasi varietas Inpara 3 (0.93) untuk lokasi Kecamatan Sukamandi, sedangkan untuk lokasi Kecamatan Cisalak terjadi pada varietas IR77 dan Ciherang (0.99).

Perkembangan Penyakit Blas Berdasarkan Model Epidemiologi EPIRICE

Model EPIRICE menghasilkan luaran grafik perkembangan penyakit blas berbentuk unimodal yang menjadi karakteristik epidemiologi penyakit blas daun (Savary et al., 2012). Titik onset epidemik penyakit blas atau titik mulai infeksi, terjadi pada hari ke-17 hari setelah semai (HSS) di kedua lokasi. Setelah melalui periode onset atau awal kejadian penyakit, penyakit blas berkembang dengan cepat hingga mencapai nilai maksimum pada periode anakan padi (*tillering*) umur 60-70 HSS. Setelah mencapai nilai maksimum, nilai keparahan penyakit blas menurun dengan cepat hingga akhir usia tanaman (Gambar 3).



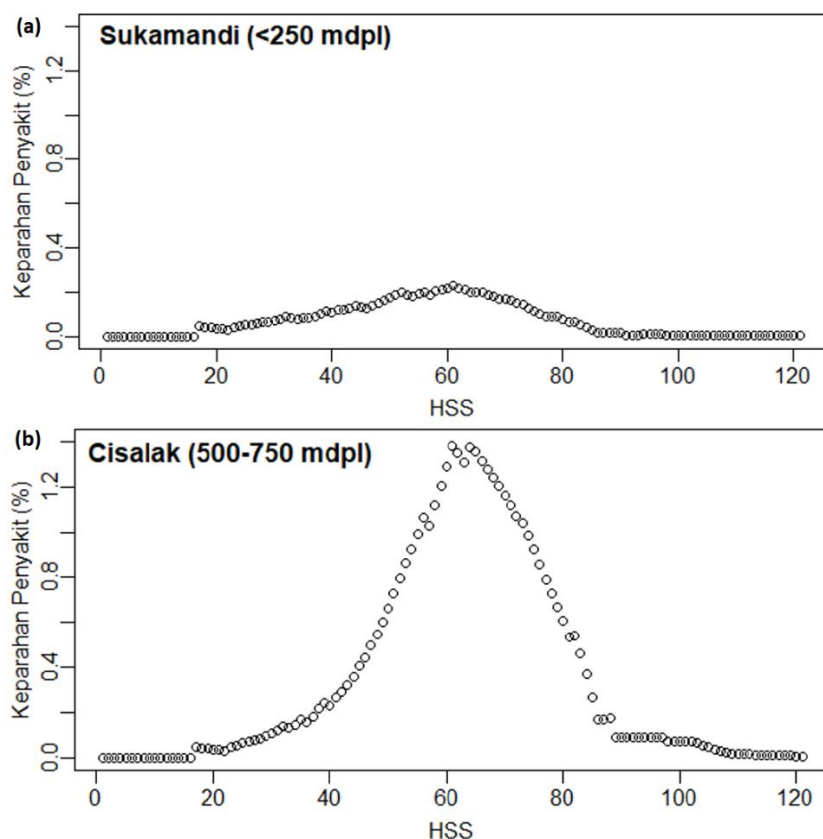
Gambar 2 Grafik perbandingan nilai akumulasi dari keparahan penyakit blas di Kecamatan Sukamandi dan Cisalak. Garis merah menunjukkan luaran model EPIRICE. Untuk Kecamatan Sukamandi, garis hijau menunjukkan varietas IR64, biru-Sintanur, hitam-Mekongga, coklat-Situbagendit, ungu-Inpara 3. Untuk Kecamatan Cisalak, garis hijau menunjukkan varietas IR77, biru-Unggul, hitam-Cibentang, coklat-Agay, ungu-Ciherang.

Keparahan penyakit maksimum pada pengamatan Sukamandi tercapai pada 60 hari setelah semai (HSS) dengan nilai sebesar 0.3%. Sedangkan pada pengamatan Cisalak, nilai keparahan penyakit maksimum adalah 1.4% yang dicapai pada 63 HSS. Hal ini menunjukkan bahwa daerah wilayah Kecamatan yang termasuk pada dataran rendah, memiliki kondisi iklim yang lebih panas, dimana suhu lingkungan

cenderung lebih besar dari pada suhu optimum perkembangan jamur penyakit blas. Sedangkan untuk wilayah Kecamatan Cisalak yang termasuk dataran sedang, suhu udaranya lebih rendah dari dataran rendah, sehingga lebih optimal bagi perkembangan penyakit blas (Zulaika, 2017).

Tabel 1 Tabulasi hasil analisis kemampuan model EPIRICE berdasarkan indikator statistik *RMSE* dan *r* pada 10 varietas tanaman padi yang berbeda di dua lokasi yang berbeda.

Lokasi	Varietas	RMSE	r
Kecamatan Sukamandi (<250 mdpl)	IR64	2.73	0.742
	Situbagendit	2.05	0.846
	Sintanur	5.50	0.846
	Inpara 3	7.50	0.928
	Mekongga	4.10	0.806
Kecamatan Cisalak (500-750 mdpl)	IR77	7.98	0.992
	Unggul	17.24	0.920
	Cibentang	18.72	0.883
	Agay	3.90	0.990
	Ciherang	3.58	0.992



Gambar 3 Grafik perkembangan penyakit di Sukamandi dan Cisalak.

Perubahan Sebaran Spasial Potensi Epidemologi Penyakit Blas akibat Perubahan Iklim

Selama periode 1996-2005 (*baseline*), potensi epidemologi penyakit blas berada pada tingkat yang rendah, baik berdasarkan model iklim CSIRO-Mk3-6-0 maupun MIROC5. Nilai AUDPC rata-rata seluruh daerah di Provinsi Jawa Barat berdasarkan model iklim CSIRO-Mk3-6-0 dan MIROC5 berturut-turut sebesar 5%.hari dan 4.5%.hari. Kedua model iklim menunjukkan daerah dengan potensi serangan tertinggi yang sama, yaitu pada bagian selatan Kabupaten Bandung dan bagian selatan Kota Garut dengan nilai AUDPC maksimum sebesar 19%.hari dan 21%.hari berdasarkan model iklim CSIRO-Mk3-6-0 dan MIROC5 berturut-turut. Potensi serangan penyakit blas di daerah sentra produksi padi meliputi Kabupaten Subang, Kabupaten Karawang, Kabupaten Cirebon dan Kabupaten Indramayu tergolong rendah.

Skenario perubahan iklim RCP4.5 memproyeksikan adanya beberapa kebijakan pro-iklim seperti valuasi vegetasi alam dan program reforestasi (van Vuuren et al., 2011). Konsentrasi CO₂ dan *radiative forcing* pada tahun 2100 berada pada level 650 ppm dan 4.5 W/m², diikuti stabilisasi kondisi iklim setelah periode tersebut. Rogelj et al. (2012) menyatakan bahwa besar kenaikan suhu udara global yang diproyeksikan skenario RCP4.5 adalah sebesar 2.0-3.0°C pada tahun 2100. Sedangkan skenario perubahan iklim RCP 8.5 merupakan skenario dengan konsumsi energi paling intensif dan emisi tertinggi yang membawa konsekuensi berupa konsentrasi CO₂ di atmosfer sebesar 1370 ppm dan *radiative forcing* sebesar 8.5 W/m² dengan kenaikan suhu udara global sekitar 4.0-6.1°C pada tahun 2100 (Rogelj et al., 2012).

Berdasarkan skenario RCP4.5, rata-rata nilai AUDPC seluruh Jawa Barat selama tahun 2021 hingga tahun 2050 berada pada tingkat yang rendah (Tabel 3). Nilai rata-rata yang rendah tersebut menunjukkan bahwa potensi serangan penyakit blas berada pada tingkat rendah. Hasil analisis potensi serangan penyakit blas dengan skenario RCP8.5 juga menunjukkan bahwa penyakit blas bukan merupakan ancaman serius bagi produksi padi di Jawa Barat. Hal ini terlihat dari nilai rata-rata AUDPC sepuluh tahunan yang rendah selama 2021-2030 berdasarkan dua model iklim yang digunakan (Tabel 2). Dibandingkan skenario RCP4.5, rata-rata AUDPC pada skenario RCP8.5 berfluktuasi, terutama pada model iklim CSIRO-Mk3-6-0 yang pada periode 2031-2040 memiliki rata-rata AUDPC lebih tinggi. Hal ini disebabkan adanya beberapa kali *outbreak* sepanjang periode 2031-2040. Berdasarkan nilai standar deviasi pada analisis dengan skenario RCP8.5, potensi serangan penyakit blas sangat bervariasi antar wilayah dan antar waktu.

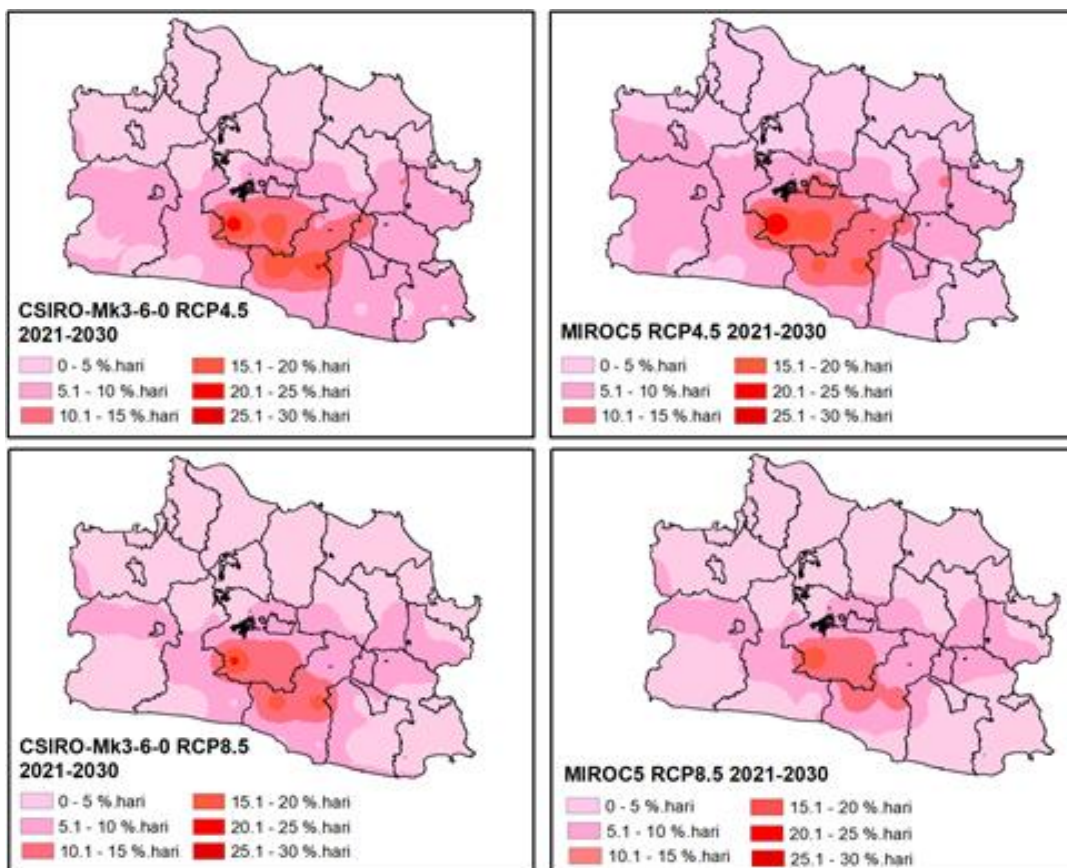
Potensi serangan penyakit blas juga menurun seiring dengan waktu yang ditunjukkan oleh nilai AUDPC rata-rata sepuluh tahunan yang mengalami penurunan antar periodenya. Selain itu, nilai standar deviasi dari AUDPC menunjukkan bahwa potensi serangan penyakit blas di Jawa Barat sangat bervariasi antar wilayah dan waktu. Hal ini disebabkan topografi dan iklim yang tidak seragam. Potensi serangan penyakit blas tertinggi di wilayah Jawa Barat terdapat di Kabupaten Bandung bagian selatan yang memiliki iklim bersuhu lebih rendah (Gambar 4). Wilayah utara Jawa Barat yang merupakan daerah dataran rendah memiliki potensi serangan penyakit blas yang lebih rendah dibanding wilayah selatan.

Tabel 2 Rata-rata dan standar deviasi AUDPC pada dua model iklim dengan dua skenario perubahan iklim yang berbeda.

Skenario Perubahan Iklim	Model Iklim Periode	CSIRO Mk3-6-0		MIROC5	
		Rata-rata	Standar Deviasi	Rata-rata	Standar Deviasi
RCP 4.5	2021-2030	5.6	4.9	6.0	4.7
	2031-2040	4.8	4.2	5.3	4.6
	2041-2050	3.2	2.4	3.7	3.0
RCP 8.5	2021-2030	4.8	4.1	4.5	3.6
	2031-2040	6.6	6.4	3.5	2.6
	2041-2050	3.9	3.2	4.0	3.3

Berdasarkan hasil skenario RCP 8.5, Kabupaten Bandung bagian selatan dan Kota Garut menjadi daerah dengan potensi serangan penyakit blas tertinggi di seluruh Jawa Barat (Gambar 4). Berbeda dari hasil skenario RCP4.5, analisis dengan skenario RCP8.5 menunjukkan bahwa wilayah

tengah Jawa Barat berpotensi mengalami serangan penyakit blas dengan tingkat lebih tinggi. Sementara wilayah utara dan selatan berpotensi mengalami serangan pada tingkat lebih rendah.



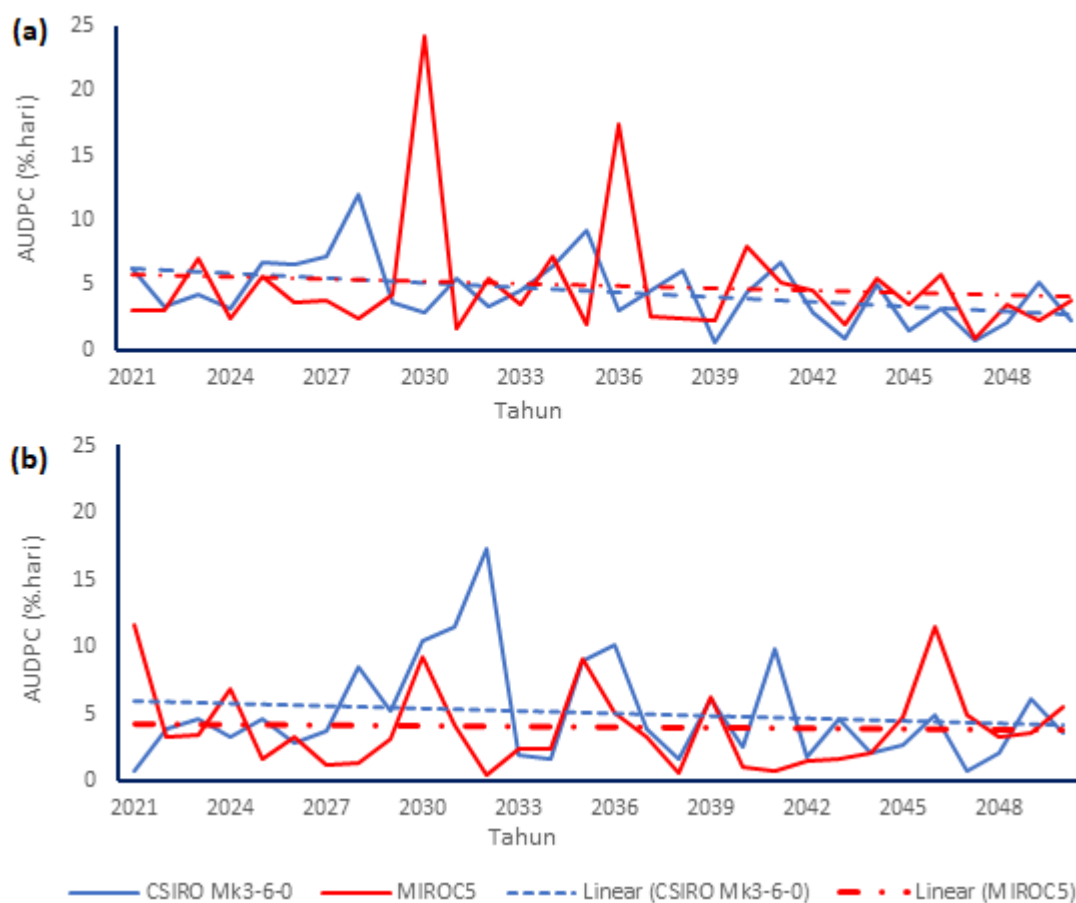
Gambar 4 Sebaran nilai AUDPC spasial penyakit blas di provinsi Jawa Barat periode 2021-2030 berdasarkan model iklim CSIRO Mk3-6-0 dan MIROC5 dengan skenario perubahan iklim RCP 4.5 dan RCP 8.5.

Berdasarkan hasil simulasi secara time series selama periode proyeksi masa depan, terdapat tren penurunan serangan penyakit blas di Jawa Barat selama dalam rentang tahun 2021-2050 (Gambar 5a). Adanya tren penurunan tersebut disebabkan oleh perubahan iklim berupa peningkatan suhu, sehingga keadaan iklim tidak lagi optimum untuk perkembangan epidemi penyakit blas. Selama kurun waktu 2021-2050, terdapat tahun-tahun tertentu dimana terjadi ledakan (*outbreak*) serangan penyakit blas di Jawa Barat yang ditunjukkan dari peningkatan nilai AUDPC yang signifikan dibanding tahun-tahun sebelumnya (Gambar 5a). *Outbreak* tersebut terjadi karena adanya

variabilitas iklim berupa peningkatan intensitas dan frekuensi curah hujan melebihi keadaan normalnya, sehingga kanopi tanaman padi berada pada kondisi basah berkepanjangan. Berdasarkan sebaran spasial potensi serangan penyakit blas di Jawa Barat pada skenario iklim RCP 8.5, nilai AUDPC cenderung menurun seiring dengan waktu (Gambar 5b). Ledakan serangan penyakit blas juga teridentifikasi pada tahun-tahun tertentu dalam skenario RCP8.5 ini. Sama halnya dengan *outbreak* yang teramati pada skenario RCP4.5, *outbreak* pada skenario RCP 8.5 ini juga disebabkan adanya variabilitas iklim berupa peningkatan curah hujan yang melebihi normal. Peningkatan suhu dan curah hujan akan

meningkatkan kelembaban relatif dimana kondisi iklim tersebut sangat optimal untuk perkembangan spora jamur

patogen (Gautam et al., 2013), sehingga tingkat keparahan penyakit lebih tinggi dari kondisi normal.



Gambar 5 Grafik time-series nilai AUDPC Penyakit Blas di Jawa Barat berdasarkan model iklim CSIRO Mk3-6-0 dan MIROC5 dengan skenario perubahan iklim: (a) RCP 4.5 dan (b) RCP 8.5.

Perbandingan nilai AUDPC periode 2021-2050 dengan periode *baseline*

Peningkatan suhu udara serta perubahan pola curah hujan dapat menyebabkan serangan penyakit yang parah karena kondisi iklim menjadi optimum bagi perkembangan epidemi penyakit tersebut. Sebaliknya, perubahan iklim juga dapat menekan epidemi penyakit pada sebagian pathogen yang tidak toleran terhadap suhu yang tinggi. Potensi serangan penyakit blas di Jawa Barat mengalami penurunan akibat perubahan iklim (Gambar 6). Adanya peningkatan suhu udara menyebabkan kondisi iklim tidak optimum bagi perkembangan epidemi penyakit blas di Jawa Barat. Hasil analisis dengan CSIRO-Mk3-6-0 menunjukkan potensi serangan penyakit blas menurun di hampir seluruh wilayah Jawa Barat, kecuali di beberapa daerah seperti Kabupaten Cianjur, Kabupaten Bandung dan Kabupaten Garut yang justru potensi serangannya meningkat pada skenario RCP8.5. Hasil analisis dengan MIROC5 skenario RCP4.5 menunjukkan potensi serangan penyakit blas di Jawa Barat tidak berubah dibanding periode *baseline*. Sebaliknya, potensi serangan di seluruh daerah Jawa Barat mengalami penurunan pada hasil analisis dengan skenario RCP8.5. Hasil ini sesuai dengan penelitian Kim et al. (2015) di Korea Selatan yang juga menunjukkan penurunan potensi serangan penyakit blas pada skenario RCP 8.5 lebih besar dibanding RCP 4.5 berdasarkan model iklim HadGEM2-AO.

KESIMPULAN

Model EPIRICE mampu mensimulasikan tingkat keparahan penyakit blas yang menyerang 10 varietas tanaman padi dengan performa model yang baik (RMSE 2.05-18.72 dan r 0.742-0.992) pada dua lokasi berbeda ketinggian. Hasil analisis dua model iklim (CSIRO-Mk3-6-0; MIROC5) dengan dua skenario iklim (RCP 4.5; RCP 8.5) menunjukkan bahwa wilayah dataran tinggi meliputi Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Garut memiliki potensi tingkat keparahan yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lain. Secara umum, perubahan iklim mengakibatkan penurunan potensi serangan penyakit blas di Jawa Barat. Selisih nilai AUDPC periode proyeksi masa depan terhadap periode *baseline* berkisar pada -6 sampai 6 %/hari. Secara spasial, perubahan iklim mengakibatkan penyakit blas berkembang dengan baik (tingkat keparahan meningkat 0.1 sampai 6 %/hari) pada lokasi dataran sedang-tinggi, misal Kabupaten Bandung. Sedangkan pada lokasi dataran rendah, misal wilayah Kabupaten Majalengka, keparahan penyakit blas mengalami penurunan (-6 sampai -4 %/hari). Berdasarkan skenario iklim RCP 4.5, akan terjadi ledakan serangan penyakit blas pada tahun 2030 dan 2036 akibat dari peningkatan curah hujan.



Gambar 6 Sebaran selisih AUDPC tahun 2021-2050 dengan *baseline* secara spasial dengan model iklim CSIRO Mk3-6-0

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Assoc. Prof. Adam Henry Sparks, Ph.D. dari *Centre for Crop Health, University of Southern Queensland, Australia* yang telah memberikan bantuan, saran dan panduan mengenai model EPIRICE.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Susanto, R., 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol.* 23, 1435–1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>
- Asfarian, A., Y. Herdiyeni, A. Rauf, K. H. Mutaqin, 2013. Paddy diseases identification with texture analysis using fractal descriptors based on fourier spectrum, in: 2013 International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA). Presented at the 2013 International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA), pp. 77–81. <https://doi.org/10.1109/IC3INA.2013.6819152>
- Ashkani, S., Rafii, M.Y., Shabanimofrad, M., Miah, G., Sahebi, M., Azizi, P., Tanweer, F.A., Akhtar, M.S., Nasehi, A., 2015. Molecular Breeding Strategy and Challenges Towards Improvement of Blast Disease Resistance in Rice Crop. *Frontiers in Plant Science* 6, 886. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00886>
- Bottrell, D.G., Schoenly, K.G., 2012. Resurrecting the ghost of green revolutions past: The brown planthopper as a recurring threat to high-yielding rice production in tropical Asia. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 15, 122–140. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2011.09.004>
- Chai, T., Draxler, R., 2014. Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development* 7, 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Gautam, H., Bhardwaj, M., Rohitashw, K., 2013. Climate change and its impact on plant diseases. *Current Science* 105, 1685–1691.
- Kim, K.-H., Cho, J., Lee, Y.H., Lee, W.-S., 2015. Predicting potential epidemics of rice leaf blast and sheath blight in South Korea under the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change scenarios using a rice disease epidemiology model, EPIRICE. *Agricultural and Forest Meteorology* 203, 191–207. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.01.011>
- Kotera, A., Nagano, T., Hanittinan, P., Koontanakulvong, S., 2016. Assessing the degree of flood damage to rice crops in the Chao Phraya delta, Thailand, using MODIS satellite imaging. *Paddy and Water Environment* 14, 271–280. <https://doi.org/10.1007/s10333-015-0496-9>
- Li, T., Angeles, O., Radanielson, A., Marcaida, M., Manalo, E., 2015. Drought stress impacts of climate change on rainfed rice in South Asia. *Climatic Change* 133, 709–720. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1487-y>
- Miah, G., Rafii, M.Y., Ismail, M.R., Puteh, A.B., Rahim, H.A., Asfaliza, R., Latif, M.A., 2013. Blast resistance in rice: a review of conventional breeding to molecular approaches. *Molecular Biology Reports* 40, 2369–2388. <https://doi.org/10.1007/s11033-012-2318-0>
- Muthayya, S., Sugimoto, J.D., Montgomery, S., Maberly, G.F., 2014. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1324, 7–14. <https://doi.org/10.1111/nyas.12540>
- Nalley, L., Tsiboe, F., Durand-Morat, A., Shew, A., Thoma, G., 2016. Economic and Environmental Impact of Rice Blast Pathogen (*Magnaporthe oryzae*) Alleviation in the United States. *PLOS ONE* 11, e0167295. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167295>
- Panuju, D.R., Mizuno, K., Trisasongko, B.H., 2013. The dynamics of rice production in Indonesia 1961–2009. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 12, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.05.002>
- R Core Team., 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rogelj, J., Meinshausen, M., Knutti, R., 2012. Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. *Nature Climate Change* 2, 248.
- Rotstayn, L.D., Jeffrey, S.J., Collier, M.A., Dravitzki, S.M., Hirst, A.C., Syktus, J.I., Wong, K.K., 2012. Aerosol- and greenhouse gas-induced changes in summer rainfall and circulation in the Australasian region: a study using single-forcing climate simulations. *Atmospheric*

- Chemistry and Physics 12, 6377–6404. <https://doi.org/10.5194/acp-12-6377-2012>
- Roychowdhury, M., Jia, Y.L., Cartwright, R.D., 2012. Structure, function, and co-evolution of rice blast resistance genes. *Acta Agronomica Sinica* 38, 381–393. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2012.00381>
- Savary, S., Nelson, A., Willocquet, L., Pangga, I., Aunario, J., 2012. Modeling and mapping potential epidemics of rice diseases globally. *Crop Protection* 34, 6–17. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.11.009>
- Sudir, Nasution, A., Santoso, Nuryanto, B., 2014. Penyakit Blas *Pyricularia grisea* pada Tanaman Padi dan Strategi Pengendaliannya. *IPTEK Tanaman Pangan* 9, 85–96.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Wang, X., Lee, S., Wang, J., Ma, J., Bianco, T., Jia, Y., 2014. Current Advances on Genetic Resistance to Rice Blast Disease, in: *Rice-Germplasm, Genetics and Improvement*. IntechOpen Limited, London, pp. 195–217.
- Watanabe, M., Suzuki, T., O’ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., Takemura, T., Chikira, M., Ogura, T., Sekiguchi, M., Takata, K., Yamazaki, D., Yokohata, T., Nozawa, T., Hasumi, H., Tatebe, H., Kimoto, M., 2010. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *J. Climate* 23, 6312–6335. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3679.1>
- Yáñez-López, R., Torres-Pacheco, I., Guevara-González, R., Hernández-Zul, M., Quijano-Carranza, J., Rico-García, E., 2012. The Effect of Climate Change on Plant Diseases. *African Journal of Biotechnology* 11, 2417–2428. <http://dx.doi.org/10.5897/AJB10.2442>
- Yulianto, 2017. Pengendalian Penyakit Blas Secara Terpadu pada Tanaman Padi. *IPTEK Tanaman Pangan* 12, 25–33.
- Zhou, G., Xu, Donglin, Xu, Dagao, Zhang, M., 2013. Southern rice black-streaked dwarf virus: a white-backed planthopper-transmitted fivirus threatening rice production in Asia. *Frontiers in Microbiology* 4, 270. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00270>
- Zulaika, 2017. Pemodelan Keparahatan Penyakit Blas (*Pyricularia oryzae* Cav.) pada Tanaman Padi di Kabupaten Subang. Institut Pertanian Bogor, Bogor.