

Simulasi DYMEEX untuk Pendugaan Potensi Resiko Kehilangan Hasil oleh Hama Penggerek Batang Padi Kuning di Indramayu

Eva Nurhayati^{1, 2}, Yonny Koesmaryono¹, Impron¹

¹Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

²Stasiun Meteorologi Radin Inten II Bandar Lampung, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jl. Alamsyah Ratu Prawira Negara KM. 28 Branti, Lampung Selatan 35364

Abstrak. Penggerek Batang Padi Kuning (PBK) merupakan salah satu hama utama pada tanaman padi yang memiliki intensitas serangan cukup tinggi pada areal sentra produksi padi, khususnya di wilayah Jawa Barat. Iklim merupakan salah satu faktor eksternal lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap pola dinamika populasinya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem informasi iklim melalui simulasi model DYMEEX dalam rangka mengurangi tingkat resiko kehilangan hasil produksi padi oleh serangan hama PBK di wilayah Indramayu, Jawa Barat. Pendugaan resiko kehilangan hasil dapat diprediksi dari hasil pemodelan dinamika populasi hama PBK dengan membutuhkan input parameter iklim dan suhu ambang bawah perkembangan (T_0) untuk menggambarkan siklus hidup PBK dari tahap telur, larva, pupa hingga dewasa (imago). Uji kalibrasi dan validasi model menunjukkan adanya nilai koefisien determinasi (R^2) antara hasil prediksi model dan observasi pada wilayah kajian yang baik sehingga dapat menggambarkan perkembangan, mortalitas, transfer individu dari satu tahap ke tahap kehidupan selanjutnya serta fekunditas dan reproduksi PBK. Informasi iklim yang dapat diberikan dari data keluaran model menunjukkan perkembangan fase imago akan lebih cepat bereproduksi pada kondisi suhu tinggi dan rendahnya intensitas curah hujan sehingga dapat memicu laju perkembangan larva yang dapat merusak tanaman padi pada berbagai stadia. Dengan demikian, potensi kehilangan hasil padi dapat diduga dengan baik melalui pemodelan dinamika populasi PBK. **Kata kunci:** DYMEEX, model dinamika populasi, penggerek batang padi kuning, kehilangan hasil produksi.

Abstract. Yellow Rice Stem Borer (YSB) is a major pest in rice plants that have a high enough intensity of attacks in area of rice production centers, especially in West Java. Climate is one of the environmental external factors which influenced the pattern of population dynamics. The purpose of this study is to develop a climate information system through simulation models DYMEEX in order to reduce risk of yield loss level in rice production by YSB pest in Indramayu area, West Java. Estimation risk of yield loss can be predicted from the results of YSB pest population dynamics modeling with requires climate parameters input and YSB development under threshold of temperature (T_0) to describe YSB life cycle from eggs, larvae, pupae to adult (imago) phase. Calibration and validation test of models showed the coefficient of determination (R^2) between model predictions results and observations in the study area is well, which can illustrate the development, mortality, transfer of individuals from one stage to the next life also fecundity and YSB reproduction. Climate information that can be provided from a data model output shows the development of imago phase will more quickly reproduce on high temperature conditions and low rainfall intensity so able to trigger the larvae development rate that can damage rice plants at various stages. Thus, the potential rice yield loss can be well predicted through YSB population dynamics modeling. **Keywords:** DYMEEX, population dynamic model, yellow rice stem borer, yield loss production.

Pendahuluan

Hama merupakan salah satu penyebab utama penurunan produktivitas tanaman.

Penggerek Batang padi Kuning (PBK) atau *Scirpophaga incertulas* (Walker) merupakan salah satu hama penting pada pertanaman padi di Indonesia, khususnya di Jawa Barat. Berdasarkan data luas serangan hama di Jawa Barat pada tahun 2006, hama PBK menempati peringkat pertama, yaitu seluas 112.950 ha, namun pada tahun 2010 luas serangannya menurun menempati peringkat kedua setelah wereng batang coklat yaitu seluas 35.433 ha (BBPOPT 2010). Namun berdasarkan hasil monitoring Tim Proteksi Tanaman Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (2015) pada tahun 2011, 2012, 2013 dan 2014 hama PBK kembali menempati peringkat pertama. PBK merupakan hama *holometabola*, siklus hidupnya terdiri atas stadia telur, larva, pupa dan dewasa (imago). Larva merupakan stadia yang menggerek tanaman sehingga menimbulkan kerusakan pada berbagai stadium pertumbuhan tanaman padi.

Siklus hidup PBK membutuhkan kondisi lingkungan, seperti iklim yang sesuai dengan perkembangannya. Perkembangan hama PBK sangat dominan dipengaruhi oleh faktor iklim yang sangat berpengaruh nyata terhadap pola dinamika populasinya seperti fisiologi, kelimpahan, fenologi dan distribusi geografisnya (Shi *et al.* 2011). Lebih lanjut berdasarkan laporan Litsinger *et al.* (2006) dan Estay *et al.* (2009), penyebab munculnya PBK dapat diduga sebagai akibat dari adanya perubahan iklim. Dengan memahami siklus hidup PBK dalam ekosistemnya dengan baik, akan memberikan gambaran tinggi rendahnya populasi serta kerusakan dan kehilangan hasil produksi yang disebabkan oleh hama tersebut. Untuk itu, diperlukan pengembangan sistem informasi iklim guna meningkatkan produktivitas pertanian sebagai wujud adaptasi terhadap perubahan iklim sejak dini dalam menerapkan tindakan pengendalian hama PBK yang efektif.

Indramayu merupakan salah satu wilayah endemik hama PBK yang terletak di bagian utara Jawa Barat dan terkenal sebagai wilayah sentra produksi padi yang memiliki cukup besar kontribusinya dalam produktivitas padi nasional. Dilihat dari kondisi iklimnya, umumnya daerah ini merupakan wilayah tropis yang memiliki musim kemarau dan musim hujan yang jelas (*monsoonal*) serta bertopografi dataran rendah yang dipengaruhi oleh angin laut dari Pantai Utara (Pantura) sehingga memiliki karakteristik iklim yang cenderung kering. Kondisi seperti ini sangat disukai oleh hama PBK, sehingga keberadaan hama ini di wilayah Indramayu selalu ada setiap musimnya. Dalam hal ini,

Model DYMEEX dapat membantu memprediksi dinamika populasi dengan baik yang meliputi proses perkembangan dan mortalitas, kelimpahan dan waktu puncak populasi PBK pada kondisi iklim yang cenderung fluktuatif (Koem 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem informasi iklim melalui simulasi model DYMEEX untuk mengurangi tingkat resiko kehilangan hasil produksi padi oleh serangan hama PBK di wilayah Indramayu, Jawa Barat.

Metodologi

Data Analisis dan Alat

Data iklim harian wilayah Jatiwangi (6°45' LS - 108°06' BT, 50 mdpl) diperoleh dari Stasiun Klimatologi Dramaga-Bogor (1 Januari 1996 - 31 Desember 2015) berupa data suhu minimum dan maksimum, kelembaban minimum dan maksimum serta curah hujan. Untuk data *light trap* populasi harian imago diperoleh dari Instalasi PPOPT Kab. Indramayu (1 Januari 2003 - 31 Desember 2009). Data populasi imago PBK observasi ini digunakan untuk uji kalibrasi dan validasi populasi imago dari hasil luaran model. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak DYMEEX 3.0 untuk menganalisis dinamika populasi PBK dan menduga kehilangan hasil produksi padi yang diakibatkan oleh serangan larva hama PBK serta *Microsoft Excel* untuk pengolahan data dan uji statistik.

Potensi Kehilangan Hasil Produksi Padi Melalui Simulasi Pemodelan Dinamika Populasi PBK

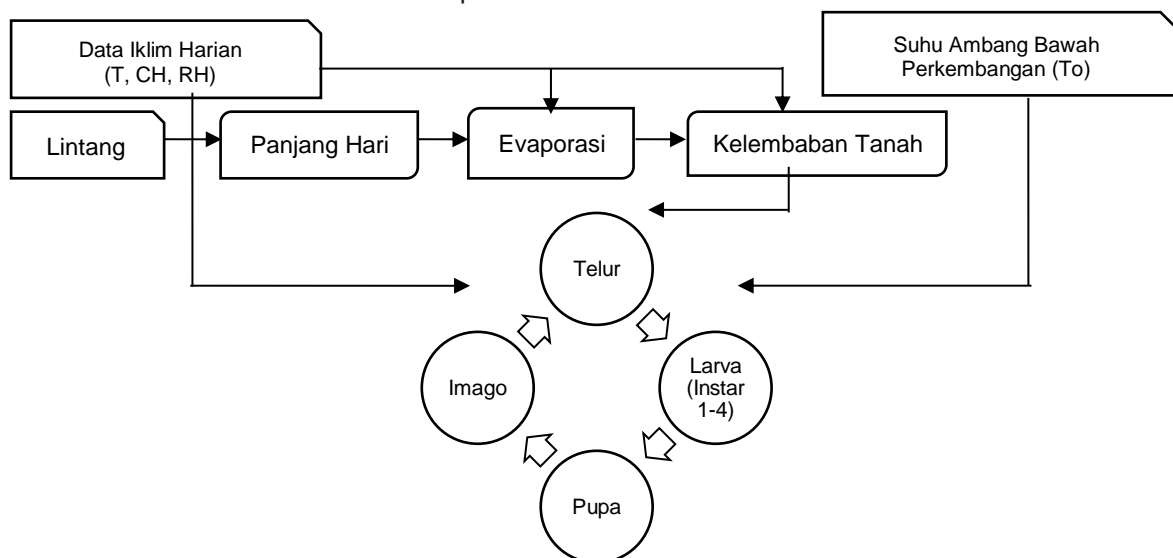
Model DYMEEX digunakan untuk melakukan analisis hubungan antara pengaruh iklim terhadap dinamika populasi suatu organisme di dalam lingkungannya pada suatu wilayah tertentu (Maywald 2007b). DYMEEX terdiri dari dua bagian, yaitu DYMEEX Model Builder (untuk membangun model) dan DYMEEX Model Simulator (untuk menjalankan model yang sudah dibangun dalam Builder). Pemodelan PBK dibangun dari dua input komponen utama, yaitu parameter iklim dan suhu ambang bawah perkembangan (*To*) yang dapat diproses dalam modul siklus hidup (*lifecycle module*). Sebagai input awal model, *timer module* dan letak lintang (*query user/latitude module*)

sangat diperlukan untuk penentuan nilai panjang hari (*daylength*) kemudian dengan penambahan variabel input suhu dan kelembaban udara dapat menduga nilai evaporasi (*evaporation*). Selanjutnya nilai evaporasi bersama variabel input curah hujan akan menduga nilai kelembaban tanah (*soil moisture*) yang dapat diestimasi di dalam DYMEM (Gambar 1). Penentuan nilai suhu ambang bawah perkembangan (T_o) PBK diperoleh dari nilai laju perkembangan (*Development Rate=DR*). Lauziere *et al.* (2002) menentukan nilai DR pada setiap fase menggunakan persamaan $DR = 1/d$, dimana nilai d merupakan periode perkembangan (hari) fase telur, larva dan pupa PBK pada suhu konstan 15-35°C (Rahman dan Khalequzzaman 2004). Selanjutnya penentuan nilai T_o pada setiap fase perkembangan PBK tersebut ditentukan dengan model regresi linier antara nilai DR dan T_o berdasarkan persamaan $y = a+bx$, dengan $y = DR$; $x = T_o$; a dan $b=konstanta$, sedangkan untuk menentukan T_o pada fase imago menggunakan persamaan $DD = d (T - T_o)$, dimana DD merupakan *Degree Days* (derajat hari) dan T merupakan suhu tertinggi yang dibutuhkan untuk perkembangan imago, yaitu pada suhu konstan 35°C (Lauziere *et al.* 2002; Nahring *et al.* 2008).

Proses berikutnya adalah pengaturan parameter mortalitas dalam model yang dipengaruhi oleh suhu minimum dan kelembaban tanah (Maywald *et al.* 2007b). Tahapan transfer (*stage transfer*) dimana seluruh fase mentransfer setelah mencapai

perkembangan penuh, yaitu mencapai usia fisiologis (*physiological age*) = 1 dimana usia fisiologis pada setiap waktu akan sama seperti akumulasi derajat hari di atas ambang suhu perkembangan (Yonow *et al.* 2004; Maywald *et al.* 2007a; Nahring *et al.* 2008). Tahapan terakhir adalah mengetahui parameter fekunditas dan reproduksi hama PBK. Fekunditas merupakan kemampuan serangga bereproduksi yang dimodelkan dalam bentuk parameter potensial telur PBK (Suharto dan Usyati 2008; Krishnaiah *et al.* 2004). Pada proses reproduksi PBK diasumsikan dikendalikan oleh siklus suhu harian dan curah hujan (Yonow *et al.* 2004; Krishnaiah *et al.* 2004).

Inisialisasi model dilakukan sebelum menjalankan Model Simulator meliputi pengaturan berbagai nilai yang diperlukan untuk menjalankan model (Maywald *et al.* 2007b) dan standar inisialisasi diterapkan untuk memastikan peniruan hasil untuk simulasi (Yonow *et al.* 2004). Proses kalibrasi dan validasi model dilakukan apabila nilai yang tercapai dapat memenuhi tingkat keakuratannya di atas nilai 37%, model dapat dinilai cukup baik (Yonow *et al.* 2004). Evaluasi kebaikan model mengacu pada indeks statistik koefisien determinasi (R^2) antara 0 – 1.



Gambar 1. Diagram dinamis populasi PBK dalam Model DYMEM

Simulasi model menggunakan data iklim harian dengan periode *baseline* 20 tahun (1 Januari 1996 – 31 Desember 2015) di wilayah Indramayu. Maywald *et al.* (2007a) mengasumsikan fungsi kerusakan atau potensi resiko kehilangan hasil produksi tanaman (y) terjadi hanya pada fase larva instar 3 dan 4 yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada tanaman inang, sehingga persamaan yang diperoleh adalah $y = [(p_1)(x_1) + (p_2)(x_2)]$. Parameter (p) dalam fungsi merupakan kerusakan relatif yang dilakukan per individu setiap harinya dalam akumulasi kerusakan oleh populasi larva bulanan. Serangan tertinggi hama PBK oleh larva instar 3 diasumsikan sebagai variabel 1 (x_1) dan larva instar 4 sebagai variabel 2 (x_2), sedangkan nilai parameter larva instar 3 (p_1) yang diberikan sebesar 0.0001 dan parameter larva instar 4 (p_2) sebesar 0.0003. Hasil simulasi dapat disajikan baik dalam bentuk tabel, grafik maupun peta (Maywald *et al.* 2007b).

Hasil dan Pembahasan

Penentuan Nilai Suhu Ambang Bawah Perkembangan (T_o) untuk Membangun Model Prediksi Dinamika Populasi PBK

Model DYMEEX dapat mengidentifikasi tahapan kehidupan dalam siklus hidup suatu organisme yang merupakan serangkaian proses mengenai perkembangan, mortalitas, transfer individu dari satu tahap ke tahap kehidupan berikutnya, fekunditas dan reproduksi (Nahrung *et al.* 2008). *Software* ini dapat mempermudah para ekologis dalam membuat model populasi organisme tanpa harus mengetahui bahasa pemrograman. Model dibangun cukup sederhana, tetapi mampu memberikan hasil yang cukup akurat dalam memprediksi generasi dan puncak populasi kelimpahan hama PBK.

Parameter iklim dan penentuan suhu ambang bawah perkembangan (T_o) merupakan input utama yang diperlukan untuk memprediksi kejadian kelimpahan atau dinamika populasi hama PBK. Dalam perkembangannya, sampai saat ini kebanyakan penelitian masih dilakukan di daerah subtropis seperti Australia (Yonow *et al.* 2004), sehingga perlu dilakukan kajian mengenai hal ini untuk wilayah tropis, khususnya di Indonesia. Dengan menggunakan model regresi linier Lauziere *et al.* (2002), nilai T_o PBK dapat diperoleh setelah menghitung nilai DR ($1/d$) pada setiap fase perkembangan PBK berturut-turut sebesar 0,040, 0,095, 0,104, 0,180, 0,366 (telur), 0,013, 0,018, 0,044, 0,063, 0,065 (larva) dan 0,063, 0,079, 0,105, 0,175, 0,248 (pupa) pada suhu konstan 15-35°C. Nilai DR yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai T_o dimana tidak terjadi perkembangan pada setiap fase PBK (DR=0), sehingga diperoleh T_o sebesar 14,39°C, 11,3°C, dan 10,65°C berturut-turut untuk fase telur, larva dan pupa, sedangkan untuk menentukan nilai T_o pada fase imago menggunakan nilai *Thermal Constant* atau *Degree Days* (DD) dan usia rata-rata (hari) yang dilaporkan oleh Rahman dan Khalequzzaman (2004), yaitu sebesar 75,16 DD dan 4,76 hari sehingga diperoleh nilai T_o untuk fase imago, yaitu sebesar 19,22°C (Tabel 1). Nilai-nilai pada Tabel 1 akan dijadikan acuan dalam menyusun data input pada Model Builder, khususnya untuk parameter dan konstanta yang akan digunakan pada modul *lifecycle* PBK.

Tabel 1. Hasil penentuan nilai T_o untuk perkembangan PBK pada fase telur, larva, pupa dan imago

Fase Perkembangan PBK	Persamaan Regresi ^a	R ²	To (°C)	DD (°hari)	d (hari)	DR (hari ⁻¹)
Telur	$y = 0.0147x - 0.2115$	0.84	14.39	56.27	2.73	0.367
Larva	$y = 0.003x - 0.0339$	0.93	11.30	365.22	15.41	0.065
Pupa	$y = 0.0093x - 0.099$	0.92	10.65	98.13	4.03	0.248
Imago	-	-	19.22	75.16	4.76	0.224

^aRentang suhu 15–35°C; Model regresi linier $y = a + bx$, (y =Development Rate=DR=0, $x = T_o$, a dan b adalah konstanta); R²: koefisien determinasi; DD: Degree Days; d: periode perkembangan

Fase Perkembangan PBK	Persamaan Regresi ^a	R ²	To (°C)	DD (°hari)	d (hari)	DR (hari ⁻¹)
Telur	$y = 0.0147x - 0.2115$	0.84	14.39	56.27	2.73	0.367
Larva	$y = 0.003x - 0.0339$	0.93	11.30	365.22	15.41	0.065
Pupa	$y = 0.0093x - 0.099$	0.92	10.65	98.13	4.03	0.248
Imago	-	-	19.22	75.16	4.76	0.224

Keeratan yang tinggi antara hubungan suhu dasar lingkungan (suhu ambang bawah perkembangan) terhadap laju perkembangan disebabkan oleh respon setiap serangga khususnya PBK terhadap perubahan suhu lingkungan akan mempengaruhi proses metabolisme di dalam tubuhnya. Suhu dasar lingkungan sangat penting terutama bagi hewan *poikilotermal* untuk aktivitas dan pengaruh laju perkembangannya yang memiliki fungsi linier, terutama yang akan mempengaruhi waktu fisiologisnya. Konsep ini sangat penting dan merupakan hal mendasar dalam memahami hubungan antara perubahan suhu lingkungan terhadap dinamika populasi, khususnya dalam memahami tingkat terjadinya kehidupan, reproduksi, laju perkembangan populasi, puncak kelimpahan, laju mortalitas, usia sampai keragaman spesies. Oleh karena itu, menentukan suhu ideal untuk perkembangan PBK dalam memodelkan fenologi atau dinamika populasinya sangatlah penting untuk dilakukan, karena faktor lingkungan seperti suhu akan sangat mempengaruhi kelimpahan PBK dalam ukuran yang berbeda pada setiap wilayah kajian.

Setelah Model Builder terbentuk, inialisasi parameter dalam Model Simulator digunakan untuk menentukan jumlah populasi awal pada setiap fase perkembangan dengan berasumsi model simulasi yang akan dijalankan dapat memenuhi kondisi jumlah populasi di lapangan secara nyata, walaupun faktor selain iklim diabaikan. Manikandan (2013) mengasumsikan waktu yang dibutuhkan setiap fase perkembangan PBK pada pemberian suhu konstan 28-36°C dapat mempengaruhi periode perkembangannya yang lebih singkat, namun apabila suhu yang diberikan diatas 36°C berpotensi menurunkan jumlah populasi telur, larva, pupa hingga imago sebesar 50% (tingkat mortalitas 0.5). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar populasi PBK diatas kondisi suhu yang lebih tinggi akan mengalami kondisi tidak aktif (aestivasi) bahkan mortalitas yang lebih cepat apabila suhu dinaikan terus hingga >40°C (Rahman dan Khalequzzaman 2004), karena mereka tidak mampu lagi untuk mentolerir kondisi tersebut. Oleh sebab itu, berdasarkan data tangkapan lampu (*light trap*) di wilayah Indramayu diperoleh rata-rata 10 ekor imago betina PBK per malam, maka apabila diasumsikan potensial telur(fekunditas) sebesar 400 butir akan terdapat 4000 telur, kemudian yang berhasil menetas menjadi larva instar awal sebanyak 2000 larva, larva lulus menjadi pupa sebesar 1000 pupa dan terakhir pupa menjadi imago sebesar 500

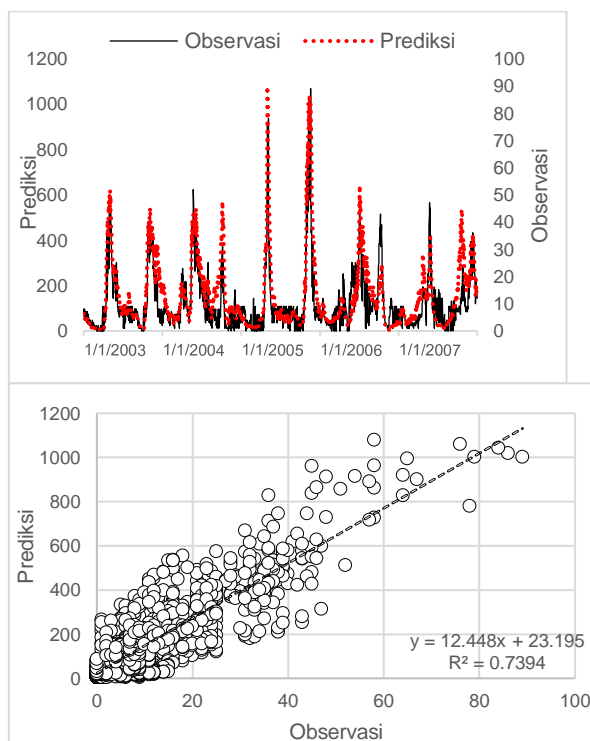
ekor imago. Hal ini dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Banjarnahor (2013).

Proses kalibrasi model dilakukan pada wilayah kajian menggunakan data populasi imago PBK harian yang tersedia di lapangan hasil pengamatan *light trap* (1 Januari 2003 – 31 Desember 2007) terhadap luaran model dengan menguji parameter mortalitas pada perkembangan PBK fase imago. Model dibangun dengan mengabaikan faktor musuh alami (agens hayati) dalam parasitasi telur, aplikasi pestisida, teknik irigasi, penggunaan varietas padi maupun pengaruh tanaman inang terhadap jumlah populasi PBK yang dapat menyebabkan tingkat mortalitas. Pengaturan parameter mortalitas dilakukan pada setiap fase perkembangan, khususnya imago. Diasumsikan nilai parameter tersebut mencakup pengaruh yang dapat menyebabkan tinggi rendahnya mortalitas pada setiap fase PBK diluar faktor iklim. Diasumsikan mortalitas konstan pada fase telur, larva dan pupa sebesar 0.01 per hari, sedangkan mortalitas imago dimodelkan dengan menggunakan nilai mortalitas sebesar 0.1 per hari, sehingga dapat mengurangi jumlah populasi sebesar 10% (Maywald *et al.* 2007b). Nilai mortalitas yang paling baik adalah yang dapat mendekati pola fluktuasi data observasi. Variasi nilai mortalitas imago yang diujikan dari nilai 0.1 sampai 0.25 per hari. Semakin tinggi parameter mortalitas imago yang diterapkan, maka model kurang memberikan hasil yang baik, karena jumlah populasi luaran model akan semakin kecil.

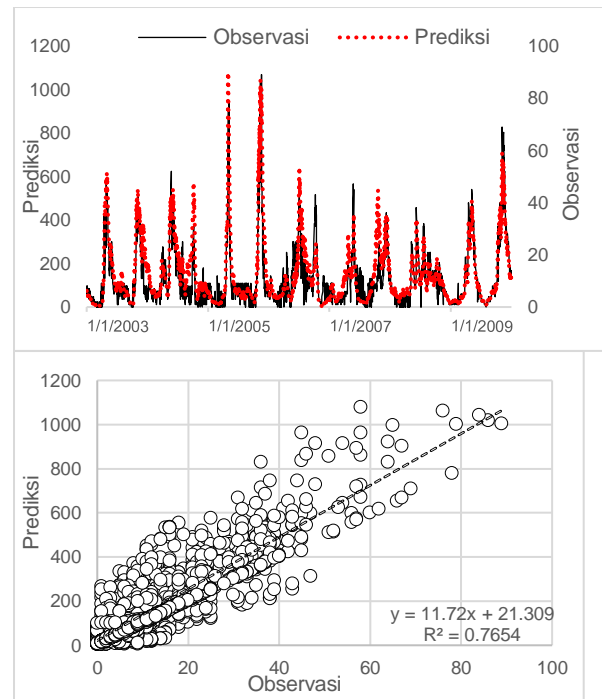
Nilai yang paling baik pada proses kalibrasi diperoleh pada tingkat mortalitas 0.1 per hari yang ditunjukkan oleh hubungan yang kuat dan berkorelasi positif dengan nilai R^2 sebesar 0.74. Kondisi ini dapat menggambarkan prediksi puncak kelimpahan populasi imago PBK secara spesifik jumlah populasi per harinya. Walaupun antara keduanya memiliki selisih jumlah populasi yang cukup besar, dimana jumlah populasi hasil prediksi lebih tinggi dari jumlah populasi observasinya, namun antara keduanya memiliki kecenderungan pola fluktuasi yang sama (Gambar 2a dan 2b). Banyak faktor di lapangan yang dapat mempengaruhi kecilnya jumlah populasi observasi, seperti kondisi luasan sawah, luasan tanam, kondisi teknis atau kerusakan alat pada lampu *light trap*, letak penempatan *light trap* terhadap kondisi sekitar, maupun pengaruh kondisi terang bulan karena PBK merupakan salah satu serangga nokturnal. Oleh karena itu, pemanfaatan data *light trap* di lapangan sangat diperlukan sebagai salah satu

tindakan preventif dalam pengendalian hama PBK, yaitu dengan memantau fluktuasi populasi suatu wilayah maupun berasal dari populasi migrasi, sehingga dapat diketahui periode puncak penerbangan imago PBK dan untuk menunjang keakuratan validasi model DYMEK.

Validasi model dilakukan pada waktu yang lebih panjang, yaitu mulai dari 1 Januari 2003 - 31 Desember 2009. Hasil uji statistik pada proses validasi model dengan baik dapat memprediksi puncak kelimpahan populasi selama periode simulasi dengan nilai R^2 sebesar 0,77 (Gambar 3a dan 3b). Tingkat akurasi antara hasil kalibrasi dan validasi model menunjukkan hasil yang cukup tinggi yaitu diatas nilai 37%, sehingga model dapat dinilai cukup baik, dimana dapat memberikan gambaran bahwa dinamika populasi PBK di wilayah Indramayu dipengaruhi cukup kuat oleh faktor iklim. Selanjutnya model dapat digunakan untuk mensimulasi respon PBK pada kondisi iklim saat ini (aktual) pada periode *baseline* tahun 1996-2015 (± 20 tahun).



Gambar 2. (a) Pola dinamika populasi imago hasil kalibrasi dengan mortalitas 0.1 per hari (1/1/2003 hingga 31/12/2007) (b) Koefisien determinasi (R^2) antara populasi imago PBK prediksi dan observasi hasil kalibrasi

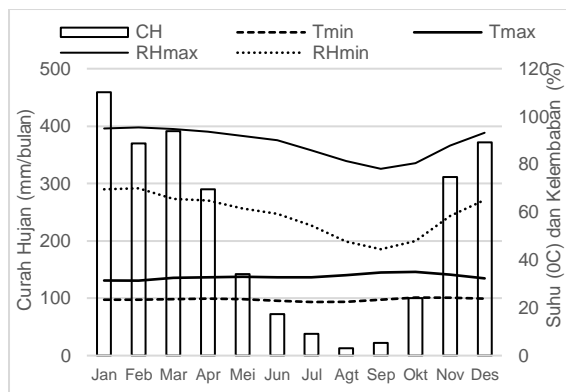
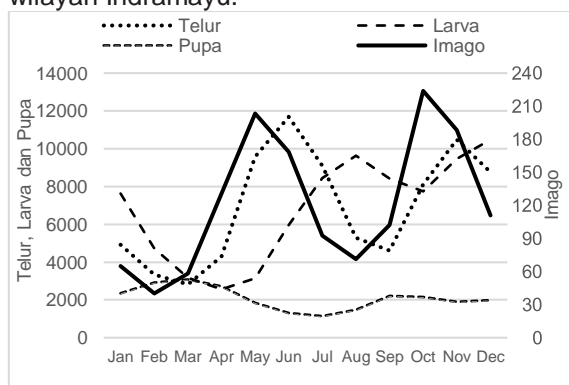


Gambar 3. (a) Pola dinamika populasi imago hasil validasi (1/1/2003 hingga 31/12/2009) (b) Koefisien determinasi (R^2) antara populasi imago PBK prediksi dan observasi hasil validasi

Simulasi model pada kondisi iklim aktual rata-rata bulanan dalam setiap musim tanam di wilayah Indramayu menunjukkan terdapat kecenderungan kelimpahan atau puncak populasi imago terjadi pada saat adanya penurunan intensitas curah hujan (< 300 mm/bulan), yaitu pada bulan April hingga Mei dan terjadi kelimpahan populasi kembali pada bulan September hingga Oktober ketika curah hujan mulai meningkat kembali (> 100 mm/bulan) dengan jumlah populasi imago > 200 ekor/bulan. Hal ini didukung oleh penelitian Banjarnahor (2013) yang membuktikan bahwa curah hujan berkisar antara 0-30 mm/minggu menjadi curah hujan yang ideal untuk perkembangan imago PBK sehingga populasi imago cenderung tinggi dan lebih cepat berkembang pada kondisi tersebut. Lebih lanjut berdasarkan hasil penelitiannya Suharto dan Sembiring (2007) juga menjelaskan bahwa populasi imago PBK biasanya meningkat menjelang berakhirnya musim hujan. Kondisi iklim optimum pada saat masa peralihan musim tersebut berada pada kondisi ideal untuk perkembangan imago PBK di wilayah Indramayu, dimana suhu minimum dan maksimum bulanan yang tercapai sebesar $23.3-24.2^{\circ}\text{C}$ dan $32.9-35.0^{\circ}\text{C}$ serta kelembaban udara minimum dan maksimum

berada pada kisaran 44.5-64.9% dan 78.1-93.7%. Kondisi sebaliknya terjadi dimana populasi imago PBK paling rendah terjadi pada saat bulan Januari hingga Maret yang berada pada nilai <60 ekor/bulan yang terjadi pada saat adanya peningkatan intensitas curah hujan $\pm 300-400$ mm/bulan (Gambar 4a dan 4b). Hal ini dapat saja diakibatkan oleh tingginya curah hujan yang mengakibatkan mortalitas yang tinggi dalam perkembangan imago PBK. Lebih lanjut Banjarnahor (2013) menjelaskan pada saat curah hujan >100 mm/minggu, populasi imago PBK cenderung akan mengalami penurunan yang sangat drastis.

Prediksi puncak kelimpahan dan jumlah populasi imago PBK bulanan/musimam secara spesifik di wilayah Indramayu pada umumnya akan terjadi pada saat memasuki bulan Oktober atau Musim Tanam Pertama (MT. I) dan Mei atau Musim Tanam Kedua (MT. II) dengan populasi sebesar >200 ekor yang diikuti kemunculan puncak populasi telur pada bulan Juni (MT. I) dan November (MT. II) sebesar ± 12000 telur, kemudian puncak populasi larva mencapai ± 10000 larva pada bulan Agustus (MT. II) dan Desember (MT. I) serta kelimpahan pupa meningkat pada bulan Januari hingga Maret (MT. I) dan September hingga November (peralihan musim tanam) yang akan mencapai $\pm 2000-3000$ pupa. Hal ini membuktikan bahwa pengaruh iklim sangat berpengaruh besar terhadap perkembangan dan pola dinamika populasi hama PBK di wilayah Indramayu.



Gambar 4. (a) Pola dinamika populasi PBK hasil simulasi rata-rata bulanan (1996-2015) (b) Karakteristik iklim rata-rata bulanan di wilayah Indramayu

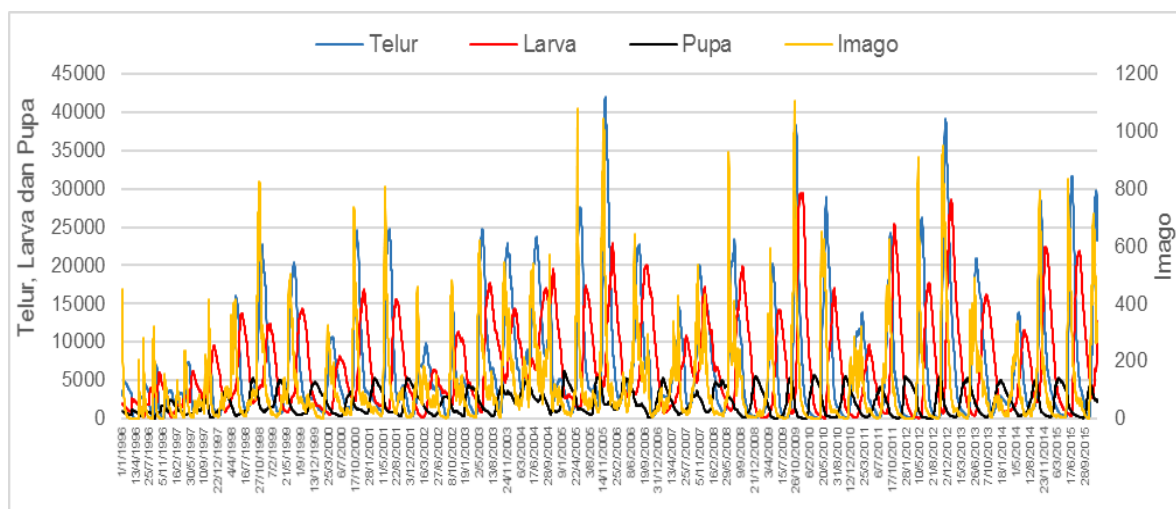
Hasil simulasi harian model menunjukkan bahwa perkembangan dinamika populasi PBK di Indramayu pada kondisi normal keberadaannya selalu ada, namun jumlahnya relatif masih dalam kondisi yang tidak mengkhawatirkan (ambang bawah kendali). Hal ini memungkinkan perkembangan PBK di wilayah Indramayu tidak lepas dari kondisi lingkungan yang sesuai untuk perkembangannya baik dari segi iklim, ketersediaan makanan maupun keberadaan musuh alaminya di lapangan. Pada kondisi normal ini, kelimpahan populasi imago PBK cenderung terjadi pada saat menjelang akhir musim hujan dan setelah musim kemarau berakhir atau pada saat memasuki awal musim hujan kembali pada setiap tahunnya. Namun, potensi yang memicu ledakan hama PBK oleh faktor iklim cenderung dapat saja terjadi pada saat adanya fenomena perubahan iklim ekstrim, seperti pasca saat adanya fenomena perubahan iklim ekstrim, fenomena El Nino kuat tahun 1997 yang kemudian diikuti La Nina sedang menunjukkan adanya ledakan hama PBK yang sangat tinggi pada saat menjelang musim hujan tahun 1998 (MT. 1998/1999), atau ledakan terjadi pada saat kondisi normal hingga La Nina sedang yang diikuti El Nino lemah hingga sedang pada MT. 2000/2001, MT. 2005, MT. 2005/2006, MT. 2008, MT. 2009/2010, MT. 2011/2012, MT. 2012, MT. 2013/2014, MT. 2014/2015, MT. 2015 dan MT. 2015/2016 (Gambar 5). Hal ini disebabkan pada saat terjadi kondisi lingkungan ekstrim seperti fenomena El Nino dan La Nina, perubahan distribusi curah hujan dapat membawa pengaruh yang cukup besar bagi organisme disekitarnya termasuk pada hama yang cenderung berubah secara drastis (Koesmaryono et al. 2005).

Kelimpahan populasi PBK setiap fase menunjukkan tingginya suhu pada kondisi ekstrim, sehingga memicu laju perkembangan PBK, tingkat mortalitas rendah dan secara langsung akan mempengaruhi usia perkembangan PBK yang relatif singkat. Selain itu, pada perkembangan fase imago akan lebih cepat bereproduksi pada kondisi suhu tinggi dan rendahnya intensitas curah hujan. Kondisi ini juga mendukung penyebaran imago lebih aktif sampai pada peletakan telurnya. Variabel iklim berupa curah hujan berkisar antara 5-40 mm/minggu atau lebih digunakan sebagai nilai acuan puncak aktivitas munculnya imago betina PBK untuk bereproduksi atau merupakan kondisi paling ideal imago PBK untuk meletakkan telurnya (Yonow *et al.* 2004; Krishnaiah *et al.* 2004). Hal ini didukung oleh penelitian Banjarnahor (2013) membuktikan bahwa curah hujan antara 0-30 mm/minggu menjadi curah hujan yang ideal untuk perkembangan imago PBK sehingga populasi imago cenderung tinggi dan lebih cepat berkembang pada kondisi tersebut. Sedangkan pada saat curah hujan lebih besar dari 100 mm/minggu populasi imago cenderung akan mengalami penurunan yang sangat drastis.

Beberapa literatur terkait menjelaskan pada kondisi normalnya, setiap betina PBK mampu memproduksi telur sebanyak 100-600 butir (Suharto dan Usyati 2008) dan usia rata-rata jantan dan betina masing-masing 2.5 dan 5.09 hari (Krishnaiah *et al.* 2004) serta dengan mengasumsikan bahwa *sex ratio* antara jantan dan betina adalah 1:2, maka diperoleh potensial produksi telur kurang lebih sebanyak 400 butir per kelompok telur. Pada proses reproduksi PBK diasumsikan dikendalikan oleh siklus suhu harian dan curah hujan. Reproduksi akan meningkat jika

siklus suhu harian diurnal berkisar antara 17-27°C dan optimum pada suhu 23.5°C. Hal ini didasarkan pada suhu minimum rata-rata wilayah kajian yang mewakili Kab. Indramayu. Adapun penggunaan suhu minimum ini dapat digunakan sebagai indikator reproduksi disebabkan imago betina PBK bereproduksi dan meletakkan telur pada malam hari (bersifat nokturnal). Oleh karena itu, suhu minimum rata-rata dinilai cukup tepat untuk digunakan dalam keberhasilan proses penetasan telur menuju tahapan berikutnya.

Laju perkembangan PBK pada fase larva memiliki nilai mortalitas rendah disebabkan larva terlindungi batang padi sehingga dapat terhindar dari pengaruh negatif lingkungan. Faktor iklim yang dapat memicu tingkat kenyamanan bahkan mortalitasnya dalam tahapan ini adalah kelembaban tanah yang sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu minimum



Gambar 5. Pola dinamika populasi PBK hasil simu

dan curah hujan. Ketika musim hujan larva bermetamorfosis menjadi pupa hingga menjadi imago dan imago bertelur kembali dengan cepat. Apabila semakin tinggi suhu, maka laju perkembangan larva ke tahap berikutnya akan semakin cepat. Ditambah apabila keberadaan tanaman inang dan ketersediaan air yang selalu ada setiap musim tanam. Hal inilah yang dapat menyebabkan puncak kelimpahan atau ledakan hama PBK menjadi sangat tinggi, dimana dalam satu musim tanam potensi kelimpahan dapat saja terjadi 1-2 generasi populasi PBK.

Pendugaan Potensi Resiko Kehilangan Hasil Produksi Padi oleh Hama PBK

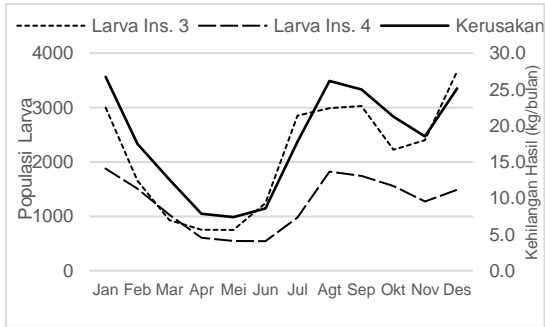
Upaya pengendalian PBK menjadi penting dilakukan untuk mengurangi kehilangan hasil produksi padi. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya untuk mengatasi masalah tersebut yang dapat dilakukan melalui pengembangan model prediksi dinamika populasi PBK. Setelah model prediksi dinamika populasi terbentuk, maka pendugaan potensi kehilangan hasil produksi padi oleh serangan larva hama PBK dapat dilakukan dengan menambahkan *equation module*. Input yang digunakan adalah variabel populasi pada larva instar 3 dan 4 diasumsikan merupakan stadia PBK yang menyebabkan kerusakan paling tinggi (Maywald *et al.* 2007a).

Kehilangan hasil akibat serangan larva hama PBK pada stadium vegetatif (sundep) dapat dikompensasi dengan pembentukan anakan baru, dimana tanaman masih sanggup mengkompensasi akibat kerusakan sampai 30%, sedangkan serangan pada stadium generatif (beluk) menyebabkan malai tampak putih dan hampa dan kerugian hasil yang disebabkan setiap persen gejala beluk berkisar 1-3% atau rata-rata 1.2% (Pathak dan Khan 1994). Serangan hama ini juga dapat menyebabkan kehilangan hasil produksi rata-rata pada setiap wilayah sentra produksi padi di Asia berkisar 2-5% (Chen 2008 *dalam* Suharto dan Usyati 2008) dan di Indonesia khususnya sebesar 6-10% pada setiap musim tanam yang menjadi acuan untuk menetapkan ambang pengendalian PBK berdasarkan pemantauan populasi tangkapan imago maupun tingkat kerusakan tanaman oleh serangan larva PBK. Penetapan ambang kendali tersebut berdasarkan kerusakan tanaman pada stadia vegetatif 6% dan pada stadia generatif 10% (Direktorat Perlindungan Tanaman 2002).

Pendugaan potensi kehilangan hasil produksi padi oleh serangan larva hama PBK

paling tinggi di wilayah Indramayu (diasumsikan dalam luasan sawah 1 ha) terjadi pada saat puncak musim hujan (Januari) maupun kemarau (Agustus) yang berpotensi lebih dari 20 kg/ha/bulan, dimana jumlah populasi larva instar 3 dan 4 mencapai >3000 ekor larva (Gambar 6). Apabila ini terjadi pada saat puncak musim hujan, kemungkinan besar gejala serangan beluk akan memiliki peluang lebih tinggi karena tanaman padi berada pada masa bunting (akhir MT. I), sedangkan apabila terjadi pada saat puncak musim kemarau, potensi gejala sundep akan berpeluang lebih tinggi dengan catatan apabila masih dilakukan penanaman padi pada MT. II kedua (Agustus-Oktober) yang dibantu dengan ketersediaan air irigasi. Rubia *et al.* (1990) menjelaskan bahwa kehilangan hasil padi akibat gejala sundep dapat tidak sebanding dengan tingkat serangan beluk, karena adanya aliran hasil asimilasi dari anakan dengan gejala beluk ke anakan yang sehat. Hal ini dipengaruhi oleh varietas padi yang ditanam, kesuburan tanah serta keadaan iklim yang tentunya akan mempengaruhi kondisi kelembaban tanah sehingga meningkatkan kenyamanan pada iklim mikro sekitar tanaman padi. Kondisi sebaliknya justru terjadi pada saat menjelang bulan April-Juni (MT. II), kelimpahan populasi larva instar 3 dan 4 paling rendah, yaitu <1000 ekor larva dengan potensi kehilangan hasil <10 kg/ha/bulan. Hal ini disebabkan pada saat bulan tersebut sedang berada pada masa penerbangan ngengat, sehingga potensi terjadinya kelimpahan imago PBK pada saat itu justru cenderung sangat tinggi.

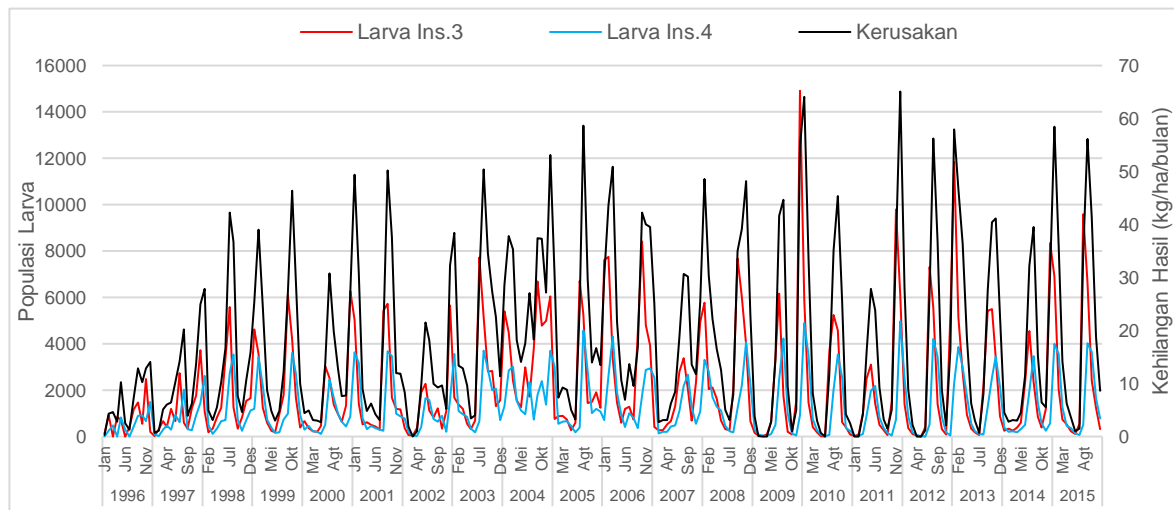
Hasil simulasi bulanan model menunjukkan bahwa jumlah populasi larva PBK instar 3 lebih tinggi dibandingkan larva instar 4. Hal ini juga berkaitan dengan perilaku makan pada larva instar 3 yang lebih aktif dan agresif sehingga tingkat kerusakannya lebih tinggi dan pada umumnya larva bersifat kanibal sehingga di dalam satu batang padi hanya ada satu ekor larva dan biasanya satu larva PBK dapat menghabiskan 5-6 anakan padi dalam satu rumpunnya (Suharto dan Usyati 2008).



Gambar 6. Potensi kehilangan hasil rata-rata bulanan (kg/ha/bulan) selama periode 1996-2015

Apabila kita memperhatikan pada Gambar 7, potensi kerusakan tertinggi akibat serangan larva hama PBK di wilayah Indramayu pada umumnya terjadi pada saat kelimpahannya memasuki puncak musim hujan (November-Januari) berkisar antara 43.1 – 49.3 kg/ha/bulan maupun puncak musim kemarau (Juli-September) berkisar antara 36.6 – 45.5 kg/ha/bulan sepanjang tahunnya. Populasi larva PBK terendah justru terjadi pada saat kelimpahan imago PBK pada bulan April-Juni (musim peralihan) berkisar antara 0.0 – 22.7 kg/ha/bulan. Kondisi ini akan didukung apabila ketersediaan air irigasi dan pola pergiliran tanaman yang diterapkan oleh petani di wilayah Indramayu umumnya padi-padi-padi, sehingga keberlanjutan tanaman inang bagi kelangsungan hidup hama PBK selalu ada sepanjang tahunnya.

Namun pada kondisi iklim ekstrim seperti fenomena *El Nino* dan *La Nina*, kelimpahan populasi larva PBK di wilayah Indramayu cenderung rendah sehingga menyebabkan penurunan kerusakan, baik secara langsung maupun tidak langsung penurunan kerusakan ini dipengaruhi oleh terganggunya metabolisme tanaman inang atau tidak adanya penanaman padi (kekeringan atau banjir) yang dapat berdampak terhadap meningkatnya mortalitas populasi larva PBK yang tidak bisa mentolerir perubahan suhu dan curah hujan akibat iklim ekstrim. Curah hujan dan suhu yang terlalu tinggi ataupun rendah akan berkorelasi negatif terhadap keberlangsungan populasi hama PBK yang dapat menjadi faktor penghambat bagi perkembangan populasinya. Faktor suhu dan kelembaban udara sangat penting bagi penetasan telur dan perkembangan larva, sedangkan curah hujan disamping berpengaruh terhadap fluktuasi suhu dan kelembaban udara juga berpengaruh langsung terhadap aktivitas penerbangan dan peletakan telur imago PBK.



Gambar 7. Potensi kehilangan hasil (kg/ha/bulan) hasil simulasi bulanan selama periode 1996-2015

Kesimpulan dan Saran

Kemampuan prediksi model DYMEMX dapat digunakan untuk merumuskan manajemen dan perencanaan pengendalian populasi PBK pada masa mendatang, terutama untuk penerapan strategi adaptasi perubahan iklim sejak dini, karena model dinilai mampu memprediksi dengan baik pengaruh iklim terhadap dinamika populasi hama PBK dan menghasilkan pola tren bulanan/musiman yang sesuai antara hasil prediksi dan observasi. Model juga dapat memprediksi jumlah populasi spesifik bulanan, jumlah generasi per musim, puncak populasi pada setiap musim serta pendugaan potensi resiko kehilangan hasil produksi padi setiap bulannya.

Diperlukan validasi data observasi kehilangan hasil padi oleh serangan hama PBK untuk menganalisis potensi resiko kehilangan hasil yang lebih akurat untuk kepentingan prediksi pada masa mendatang sehingga dapat meningkatkan strategi pengendalian yang lebih efektif. Selain itu, untuk meningkatkan kemampuan model prediksi, perlu kajian lebih lanjut dengan penambahan input model selain faktor iklim, seperti interaksi antara PBK dengan tanaman inang (padi), parasitasi musuh alami terhadap PBK, aplikasi pestisida maupun penggunaan teknik irigasi di lapangan sehingga model yang dibangun dapat lebih kompleks agar dapat mencerminkan kondisi populasi PBK yang sebenarnya. Lebih lanjut, analisis penyebaran populasi PBK dengan mengintegrasikan DYMEMX dan CLIMEX akan lebih tepat dalam membantu penentuan distribusi spesies di masa mendatang dalam kaitannya dengan penggunaan skenario perubahan iklim melalui pemetaan resiko regional kelimpahan hama PBK.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kepala dan seluruh jajaran staf Lab Hama di Instansi PPOPT Indramayu atas dukungan data *light trap* imago PBK dan kepada Stasiun Klimatologi Dramaga-Bogor atas kemudahan dukungan data iklim.

Daftar Pustaka

Banjarnahor ARK. 2013. Analisis Iklim dan Dinamika Populasi Hama Penggerek Batang Padi Kuning di Indramayu dengan Menggunakan Model Simulasi Dymex 3.0 [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

[BBPOPT] Balai Besar Peramalan Organisme Pengganggu Tumbuhan. 2010. Laporan Kerja BBPOPT 2010. <http://bbpopt.tanamanpangan.pertanian.go.id>.

[BBPTP] Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2015. Hasil Monitoring Tim Proteksi Tanaman Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Tahun 2015. <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id>.

Direktorat Perlindungan Tanaman. 2002. Pedoman rekomendasi pengendalian hama terpadu pada tanaman padi. Direktorat Perlindungan Tanaman, Direktorat Jenderal Bina Produksi Tanaman Pangan, Departemen Pertanian. Jakarta. p. 46-57.

Estay SA, Lima M, Labra FA. 2009. Predicting insect pest status under climate change scenarios: combining experimental data and population dynamics modelling. *Journal of Applied Entomology* 133:491-499. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.14390418.2008.01380.x>.

Krishnaiah NV, Prasad ASR, Reddy CS, Pasalu IC, Mishra B, Krishna YSR, Prasad YG, Prabhakar M. 2004. Forewarning and management of rice yellow stem borer *Scirpophaga incertulas (walker)*. Directorate of Rice Research Rajendranagar. *Technical Bulletin*. 7:1-39.

Koem S. 2013. Pemodelan Fenologi Populasi Penggerek Batang Padi Kuning *Scirpophaga incertulas (Walker)* Berbasis Pengaruh Iklim. Jurnal Entologi Indonesia ISSN: 1829-7722 April 2014, Vol. 11 No. 1, 1-10. doi: 10.5994/jei.11.1.1 Online version: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/entomologi>

Koesmaryono Y, Hana FT, Yusmin. 2005. Analisis hubungan tingkat serangan hama belalang kembara (*Locusta migratoria manilensis Meyen*) dengan curah hujan. *J Agromet*. 19(2):13-23.

Lauziere I, Setamou M, Legaspi J, Jones W. 2002. Effect of temperature on life cycle of *Lydella jalisco* (Diptera: Tachinidae), a parasitoid of *Eoreuma loftini* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Environmental Entomology* 31:432-437.

Litsinger JA, Alviola AL, Cruz CGD, Canapi BL, Batay-An EH, Barrion AT. 2006. Rice white stemborer *Scirpophaga incertulas* (Walker) in Southern Mindanao, Philippines. I. supplantation of yellow stemborer *S. incertulas* (Walker) and pest status. *International Journal of Pest*

Management 52:11–21. doi:
<http://dx.doi.org/10.1080/09670870600552497>.

Manikandan N, Kennedy JS, Geethalakshmi V. 2013. Effect of elevated temperature on life-history parameters of rice yellow stem borer (*Scirpophaga incertulas* Walker). Article in *Current Science* March 2016. doi: 10.18520/cs/v110/i5/851-857.

Maywald GF, Kriticos DJ, Sutherst RW, Bottomley W. 2007a. *DYMEX model builder version 3*. Melbourne: CSIRO Publishing.

Maywald GF, Bottomley W, Sutherst RW. 2007b. *DYMEX model simulator version 3*. Melbourne: CSIRO Publishing.

Nahrung HF, Schutze MK, Clarke AR, Duffy MP, Dunlop EA, Lawson SA. 2008. Thermal requirements, field mortality and population phenology modelling of *Paropsis atomaria* Olivier, an emergent pest in subtropical hardwood plantations. *Forest Ecol Manag.* 255: 3515-3523. doi: 10.1016/j.foreco.2008.02.033.

Pathak MD, Khan ZR. 1994. *Insect Pest of Rice*. Manila: International Rice Research Institute.

Rahman MT, Khalequzzaman. 2004. Temperature requirements for the development and survival of rice stemborers in laboratory conditions. *Entomologia Sinica* 11:47–60.

Rubia EG, De Vries F. W and T. Penning. 1990. Simulation of rice yield reduction caused by stemborer (SB). *IRRN* 15 (1):34.

Shi P, Zhong L, Sandhu HS, Ge F, Xu X, Chen W. 2011. Population decrease of *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera Pyralidae) under climate warming. *Ecologi and Evolution* 2:58–64. doi : <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.69>.

Suharto H, Sembiring H. 2007. Status hama penggerek batang padi di Indonesia: Apresiasi hasil penelitian padi. *BPTP* 61–71.

Suharto H, Usyati N. 2008. Pengendalian hama penggerek batang padi. Di dalam: *Padi Inovasi Teknologi Produksi*. BBPTP. Jakarta. LIPI Press. P 327-349.

Yonow T, Zalucki MP, Sutherst RW, Dominiak BC, Maywald GF, Maelzer DA, Kriticos DJ. 2004. Modelling the population dynamics of the queensland fruit fly, *bactrocera (Dacus) tryoni*: a cohort-based approach incorporating the effect of weather. *J. Ecological Modelling* 173: 9-30.