

# jTEP

## JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 6, No. 1, April 2018



Publikasi Resmi  
**Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia**  
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)  
bekerjasama dengan  
**Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA**  
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota PERTETA tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam invited paper yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, review perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, technical paper hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta research methodology berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

**Penanggungjawab:**

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia  
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

**Dewan Redaksi:**

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)  
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)  
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)  
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)  
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)  
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)  
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)  
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

**Redaksi Pelaksana:**

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)  
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)  
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)  
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)  
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)  
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)  
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)  
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

**Penerbit:** Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

**Alamat:** Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.  
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,  
E-mail: [jtep@ipb.ac.id](mailto:jtep@ipb.ac.id) atau [jurnaltep@yahoo.com](mailto:jurnaltep@yahoo.com)  
Website: [web.ipb.ac.id/~jtep](http://web.ipb.ac.id/~jtep) atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

**Rekening:** BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

**Percetakan:** PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

---

## Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 6 No. 1 April 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Nurpilihan Bafdal, M.Sc (Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Andri Prima Nugroho, STP., M.Sc (Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Radite Praeko Agus Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Ir. I Made Anom Sutrisna Wijaya, M.App.Sc., Ph.D (Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Dr.Ir. Amin Rejo, M.P (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Hasbi, MSi (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr. Siti Nikmatin, M.Si (Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor), Dr. Farkhan (PT. CNC Controller Indonesia), Dr. Alimuddin, ST., MM., MT (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa) Dr. Dedy Wirawan Soedibyo, STP., M.Si (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember), Dr. Radi, STP., M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Lenny Saulia, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Nursigit Bintoro, M.Sc (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Andasuryani, STP., M.Si (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Andalas), Dr.Ir. I Wayan Budiastira, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. Nora H. Pandjaitan, DEA (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rusnam, MS (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Radi, STP., M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr. Suhardi, STP., MP (Program Studi Keteknikan Pertanian, Universitas Hasanuddin) Dr. Ir. Yuli Suharnoto, M.Eng (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor).

*Technical Paper*

## **Model Matematika Pengisian Gabah dari Malai Primer dan Sekunder**

### *Mathematical Models of Grain Filling of Rice from Primary and Secondary Branches within a Panicle*

Rizky Tirta Adhiguna, Mahasiswa Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor & Dosen Universitas Sriwijaya. Email: rizky\_adhiguna@unsri.ac.id  
Sutrisno, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor  
Email: kensutrisno@yahoo.com  
Sugiyono, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan Institut Pertanian Bogor  
Email: ssugiyono@yahoo.com.au  
Ridwan Thahir, Forum Komunikasi Profesor Riset Kementerian Pertanian  
Email: ridwan.thahir@gmail.com

#### **Abstract**

*The present work aimed to develop mathematical model of grain filling of rice from primary and secondary branches within a panicle with increment to their weight (dry basis)-time after anthesis relationships. Three growth models for grain filling of rice were developed follow the exponential, the logistic and Gompertz functions. The grain filling models are expressed with parameters of mass at time zero, mass at time infinity and a measure for relative grain filling rate. Application of all models using data of thousand grain mass (dry basis) of rice from different branches within a panicle for Sintanur and IPB-4S variety were collected every 4 days during 14-30 days after anthesis. Model selection was conducted using Coefficient determination ( $R^2$ ), Root mean square error (RMSE) and Aikake's Information Criterion (AIC).  $R^2$ , RMSE and AIC values for the Gompertz models were 0.999, 0.224, -9.949 (rice from primary branch for Sintanur); 0.997, 0.353, -4.512 (rice from secondary branch for Sintanur); 1.000, 0.131, -16.376 (rice from primary branch for IPB-4S) and 0.999, 0.266, -7.877 (rice from secondary branch for IPB-4S) respectively which revealed that the Gompertz model was considered best to described the increment thousand grain mass (dry basis) of rice from different branches within a panicle for all two varieties.*

**Keywords:** *Mathematical, models, grain filling, rice, branches.*

#### **Abstrak**

Penelitian yang dilakukan bertujuan mengembangkan model pengisian gabah dari tingkat malai yang berbeda, terkait dengan terjadinya peningkatan bobot gabah dalam bentuk basis kering dan bertambahnya waktu pengisian gabah setelah *anthesis* (pembungaan). Penelitian ini mengembangkan model berdasarkan tiga fungsi pertumbuhan yaitu fungsi eksponensial, logistik dan fungsi Gompertz dalam pengisian gabah. Persamaan yang diperoleh memiliki parameter bobot gabah awal, bobot gabah akhir dan laju pengisian gabah relatif. Penelitian ini menggunakan data primer berat 1000 butir gabah dalam bentuk basis kering (bk) dari malai primer dan sekunder di kedua varietas Sintanur dan IPB-4S, dari hari ke-14 sampai hari ke-30 setelah pembungaan dengan interval waktu 4 hari. Pemilihan model dilakukan dengan uji kesesuaian menggunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ), *Root mean square error* (RMSE) dan *Aikake's Information Criterion* (AIC). Nilai  $R^2$ , RMSE, AIC pada model Gompertz untuk masing-masing berat kering gabah dari malai primer dan sekunder secara berturut-turut adalah 0.999, 0.224, -9.949 dan 0.997, 0.353, -4.512 (varietas Sintanur), 1.000, 0.131, -16.376 dan 0.999, 0.266, -7.877 (varietas IPB-4S), sehingga dari nilai yang dihasilkan menunjukkan bahwa model Gompertz merupakan model yang terbaik untuk pengisian bobot 1000 butir gabah (bk) dari malai primer dan sekunder di kedua varietas Sintanur dan IPB-4S.

**Kata kunci:** Matematika, model, pengisian biji-bijian, gabah, malai.

*Diterima: 23 Januari 2017; Disetujui: 1 Februari 2018*

## Pendahuluan

Gabah merupakan komoditas pangan yang memiliki bobot dan mengalami pertumbuhan selama fase pengisian pada malai, dimana gabah yang siap dipanen telah melewati fase pematangan. Berdasarkan struktur letaknya, gabah dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu gabah dari malai primer dan gabah dari malai sekunder (Makarim dan Suhartatik 2009; Young et al. 2012).

Pengisian gabah adalah pembentukan polimer di dalam sel dan organel, dibentuk selama fase pembesaran sel. Selama proses pengisian gabah berlangsung, antar gabah akan mengalami kompetisi untuk memperoleh asimilat (Makarim dan Suhartatik 2009; Dong et al. 2011). Lebih lanjut kompetisi antar gabah di malai dalam memperoleh asimilat telah dilaporkan oleh Ohsumi et al. (2011) dan Seki et al. (2014) dalam penelitian bahwa pengurangan jumlah gabah di malai menyebabkan gabah yang terisi penuh yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan jumlah gabah terisi yang tidak mengalami pengurangan jumlah di malai. Gabah yang dihasilkan dari malai juga dapat dipengaruhi oleh kapasitas translokasi karbohidrat dan ukuran gabah diantara malai (Terao et al. 2010; Fujita et al. 2013).

Gabah dari malai primer akan terlebih dahulu terisi asimilat daripada gabah dari malai sekunder (Xu dan Vergara 1986; Dong et al. 2011). Mekanisme kompetisi antar gabah selama masa pertumbuhan menyebabkan kandungan molekul dan kadar air gabah di malai tidak seragam saat gabah dipanen, sebagai akibat dari daya serap berbeda untuk setiap gabah yang tergantung protein, pati, selulosa dan lemak. Adhiguna et al. (2016) telah melaporkan dalam penelitian bahwa gabah panen yang dihasilkan dari malai primer memiliki perbedaan secara signifikan dengan gabah dari malai sekunder untuk ukuran, volume, bobot gabah seribu butir dan *bulk density*.

Ketidakteragaman antar gabah dari malai primer dan sekunder untuk mencapai umur panen yang tepat dapat digambarkan dalam suatu bentuk model pendugaan. Penelitian mengenai pengisian gabah dari malai primer dan sekunder dapat dilakukan melalui pengamatan terhadap parameter bobot dari waktu ke waktu. Data pengamatan tersebut kemudian disajikan dalam bentuk kurva pertumbuhan sehingga dapat ditentukan jenis fungsi yang sesuai dalam fase pengisian gabah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model pengisian gabah serta membandingkan pengisian gabah dari malai primer dan sekunder untuk dua varietas padi nasional yang memiliki ukuran gabah medium (Sintanur) dan ukuran ramping (IPB-4S).

## Pendekatan Teoritis

Model matematika menyediakan perangkat untuk mempelajari karakteristik pertumbuhan tanaman

padi pada berbagai lokasi, dimana tingkat kemiripan persamaan ditentukan oleh kebenaran dalam mengambil asumsi (Murtiningrum et al. 2011). Model simulasi merupakan eksperimen penyelesaian masalah untuk mempelajari sistem yang kompleks yang belum tentu dapat dianalisis langsung dengan cara analitis, dan keluaran dari sebuah model diharapkan mampu mendekati proses yang terjadi di alam.

Model matematika dikembangkan untuk menggambarkan fenomena yang terjadi selama pertumbuhan gabah. Model pertumbuhan secara umum yang menggunakan pendekatan empiris berupa fungsi pertumbuhan yang menghubungkan berat kering  $W$  dengan waktu  $t$  (France dan Thornley 1984), seperti turunan dari persamaan berikut:

$$W = f(t) \quad (1)$$

$$\frac{dW}{dt} = g(t) \quad (2)$$

dimana,

$$g(t) = \frac{dW}{dt} = h f(t) \quad (3)$$

$$\frac{dW}{dt} = h(W) \quad (4)$$

Penghilangan variabel waktu  $t$  antara Persamaan 1 dan Persamaan 2 menghasilkan Persamaan 4, dimana  $h$  adalah suatu fungsi bobot  $W$  terhadap waktu  $t$ . Persamaan 4 dikenal sebagai rata-rata fungsi tetap dengan bobot  $W$  sebagai variabel yang dapat ditafsirkan secara biologi atau biokimia (Murtiningrum et al. 2011).

Beberapa penelitian telah melaporkan tentang dugaan waktu dan laju pengisian biji-bijian untuk berbagai tanaman dan varietas seperti gandum dan *burley* dengan beberapa model matematika. Pengamatan terhadap biji-bijian yang dihasilkan tidak hanya terhadap massa tetapi juga perubahannya terhadap waktu dan metode pengukuran dilakukan secara destruktif (Zahedi dan Jenner 2003). Thasiro dan Wardlaw (1990) menyatakan bahwa model sigmoid lebih sesuai untuk pertumbuhan biji-bijian daripada model linear. Loss et al. (1989) mengestimasi pengisian maksimum gandum menggunakan kurva logistik. Koesmarno (1995) menggunakan model Gompertz untuk menduga pengisian *burley* berdasarkan sejumlah faktor pertumbuhan yang terdiri dari penurunan aktivitas metabolisme (*kernel filling senescence*), jumlah asimilat dari malai dan daun, serta *diffusion resistance*.

## Asumsi Model Pengisian Gabah

Penyusunan model matematis pengisian gabah didasarkan pada proses masuknya asimilat dari kompartemen asimilat ( $S$ ) menuju kompartemen bobot ( $W$ ) tanpa ada yang hilang dan digunakan untuk pertumbuhan gabah, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Dengan asumsi tidak ada penambahan atau pengurangan bahan dalam sistem sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{dW}{dt} + \frac{dS}{dt} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{dW}{dt} + \frac{dS}{dt} = \frac{dS}{dt} (W + S) = 0 \tag{6}$$

Sehingga,

$$(W + S) = (W_0 + S_0) = (W_t + S_t) = C \tag{7}$$

$W_0$  dan  $S_0$  sebagai nilai awal untuk masing-masing bobot  $W$  dan asimilat  $S$  pada saat  $t = 0$ , untuk  $W_t$  dan  $S_t$  adalah nilai bobot  $W$  dan asimilat  $S$  pada saat  $t \rightarrow \infty$  dan  $C$  adalah suatu konstanta pertumbuhan. Laju pertumbuhan sebagai fungsi kecepatan ( $v$ ) dari  $W$  dan asimilat  $S$  diperoleh  $\mu$  sebagai suatu fungsi yang hanya mengandung satu variabel  $W$  yaitu:

$$\frac{dW}{dt} = v(W.S) \tag{8}$$

dimana  $S = C - W$  maka,

$$\frac{dW}{dt} = v(W.C - W) = h(W) \tag{9}$$

Dengan asumsi bahwa pola perubahan bobot gabah membentuk kurva sigmoidal. Faktor pertumbuhan pada tanaman antara lain nutrisi, metabolisme tumbuhan dan gen.

Asumsi yang dipakai untuk menjabarkan suatu model pertumbuhan eksponensial sederhana yaitu faktor pertumbuhan adalah konstan dan bebas dari pengaruh bobot  $W$ , bekerja dengan kecepatan maksimum sepanjang asimilat  $S$  tersedia dan pertumbuhan bersifat *irreversible* dan berhenti jika asimilat  $S$  telah habis. Suatu model pertumbuhan logistik dalam penelitian ini menggunakan asumsi bahwa jumlah faktor pertumbuhan proporsional terhadap bobot  $W$ , bekerja dengan laju yang proporsional dengan banyaknya asimilat  $S$  dan pertumbuhan bersifat *irreversible*. Model pertumbuhan Gompertz menggunakan asumsi yaitu asimilat  $S$  tidak terbatas sehingga faktor pertumbuhan selalu bekerja pada asimilat dan sebanding dengan bobot  $W$  melalui suatu konstanta pembanding  $\mu$ , serta efektifitas menurun seiring bertambahnya waktu  $t$ .

**(1) Model Eksponensial Pengisian Gabah**

Berdasarkan asumsi yang dipakai untuk model eksponensial, selanjutnya diwujudkan melalui Persamaan 4, dimana variabel  $h$  adalah  $\mu$  sebagai parameter yang diketahui sebagai laju pertumbuhan relatif. Persamaan 4 diselesaikan melalui persamaan terpisah yaitu:



Gambar 1. Model fisik dua kompartemen tertutup.

$$\frac{dW}{dt} = \mu (W_t - W) \tag{10}$$

Untuk memperoleh nilai bobot  $W$  dilakukan pengitegralan kedua ruas dengan metode persamaan terpisah, sehingga Persamaan 11 yang dihasilkan memiliki dua parameter yaitu  $W_0$  dan  $\mu$  sebagai representasi bobot awal ( $g$ ) dan laju pertumbuhan relatif ( $g/hari$ ) seperti berikut:

$$\leftrightarrow \int_{W_0}^W \left( \frac{dW}{W} \right) = \int_0^t \mu dt \tag{11}$$

$$\leftrightarrow [ln(W)]_{W_0}^W = [\mu t]_0^t$$

$$\leftrightarrow [ln(W) - ln(W_0)] = \mu t$$

$$W = (W_0) e^{\mu t}$$

**(2) Model Logistik Pengisian Gabah**

Berdasarkan asumsi yang dipakai untuk model logistik, laju perubahan bobot dapat dituliskan berdasarkan Persamaan 4, dimana variabel  $h$  adalah  $k$  dan  $S$ . Variabel  $k$  adalah konstanta, dan berdasarkan pada Persamaan 7 pada  $S_t = 0$  diperoleh  $S = W_t - W$  sehingga menghasilkan Persamaan 10, dimana  $\mu$  adalah hasil perkalian dari  $k$  dan  $W$ . Pemisahan variabel dilakukan dengan pemisalan  $k = \mu/W_t$ , dan menghasilkan Persamaan 12 yang memiliki 3 parameter yaitu  $W_t$ ,  $W_0$ ,  $\mu$ , secara berturut-turut sebagai representasi dari bobot maksimum ( $g$ ), bobot awal ( $g$ ) dan konstanta pertumbuhan spesifik.

$$\leftrightarrow \int_{W_0}^W \left( \frac{1}{W_t - W} + \frac{1}{W} \right) dW = \int_0^t \mu dt \tag{12}$$

$$\leftrightarrow [ln(W_t - W)]_{W_0}^W + [ln W]_{W_0}^W = [\mu t]_0^t$$

$$\leftrightarrow [ln(W_t - W) - ln(W_t - W_0)] + ln W - ln W_0 = \mu t$$

$$W = \frac{W_0 W_t e^{\mu t}}{W_t - W_0 + W_0 e^{\mu t}}$$

Dengan mengalikan pembilang dan penyebut dengan  $e^{-\mu t}$ , diperoleh Persamaan 13 yaitu:

$$W = \frac{W_0 W_t}{W_0 + (W_t - W_0) e^{-\mu t}} \tag{13}$$

Durasi pengisian gabah optimum adalah waktu pengisian gabah yang diperoleh dari hasil selisih waktu saat nilai bobot gabah terisi 95% dan 5 % dari nilai bobot gabah akhir (terisi penuh), diperoleh melalui persamaan berikut:

$$t_{optlog} = \left[ -\frac{1}{\mu} \ln \left( \frac{W_0(W_t - 0.95W_t)}{0.95W_t(W_t - W_0)} \right) \right] - \left[ -\frac{1}{\mu} \ln \left( \frac{W_0(W_t - 0.05W_t)}{0.05W_t(W_t - W_0)} \right) \right] \tag{14}$$

**(3) Model Gompertz Pengisian Gabah**

Berdasarkan asumsi yang dipakai untuk model Gompertz, laju perubahan bobot dapat dituliskan dalam bentuk Persamaan 4 dimana variabel  $h$  adalah  $\mu$ . Berdasarkan asumsi yang telah ditentukan,  $\mu$  bukan merupakan suatu konstanta tetapi melainkan sebagai parameter laju pertumbuhan relatif, sedangkan konstanta ditentukan melalui parameter

tambahan  $D$  sebagai representasi dari efektifitas faktor pertumbuhan seperti penurunan aktivitas metabolisme akibat proses pematangan gabah (*kernel filling senescence*), sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{d\mu}{dt} = D\mu \tag{15}$$

$$\mu = \mu_0 W e^{-Dt} \tag{16}$$

dimana  $\mu_0$  adalah nilai  $\mu$  pada saat waktu  $t = 0$ , melalui integral dan penyelesaian persamaan terpisah, diperoleh Persamaan 17 yang memiliki 3 parameter yaitu  $W_0, \mu_0, D$ , dan secara berturut-turut sebagai representasi bobot awal (g),  $\mu$  pada saat waktu awal (g/hari) dan konstanta pertumbuhan.

$$\begin{aligned} \leftrightarrow \int_{W_0}^W \frac{dW}{W} &= \mu_0 W e^{-Dt} \\ \leftrightarrow \left[ \ln W \right]_{W_0}^W &= \left[ \frac{\mu_0}{D} t \right]_0^t \\ \leftrightarrow \ln \left( \frac{W}{W_0} \right) &= -\frac{\mu_0}{D} (e^{-Dt} - 1) \\ \leftrightarrow \left( \frac{W}{W_0} \right) &= e^{\frac{\mu_0}{D}(1 - e^{-Dt})} \\ W &= W_0 \exp \left[ \frac{\mu_0(1 - e^{-Dt})}{D} \right] \end{aligned} \tag{17}$$

Durasi optimum pengisian gabah dari model Gompertz diperoleh sebagai berikut:

$$t_{optlog} = \frac{\ln \left( -\left( \frac{D}{\mu_0} \right) \left( \frac{W_0(W_r - 0.95W_0)}{0.95W_r(W_r - W_0)} \right) \right) - \ln \left( -\left( \frac{D}{\mu_0} \right) \left( \frac{W_0(W_r - 0.05W_0)}{0.05W_r(W_r - W_0)} \right) \right)}{-D} \tag{18}$$

**Bahan dan Metode**

**Bahan dan Peralatan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gabah dari malai primer dan sekunder dari varietas Sintanur dan varietas IPB-4S. Pengukuran bobot 1000 butir gabah yang dipanen menggunakan timbangan analitik digital AQT-200 dengan tingkat akurasi 0.0001 g dan kadar air gabah menggunakan oven.

**Prosedur Penelitian**

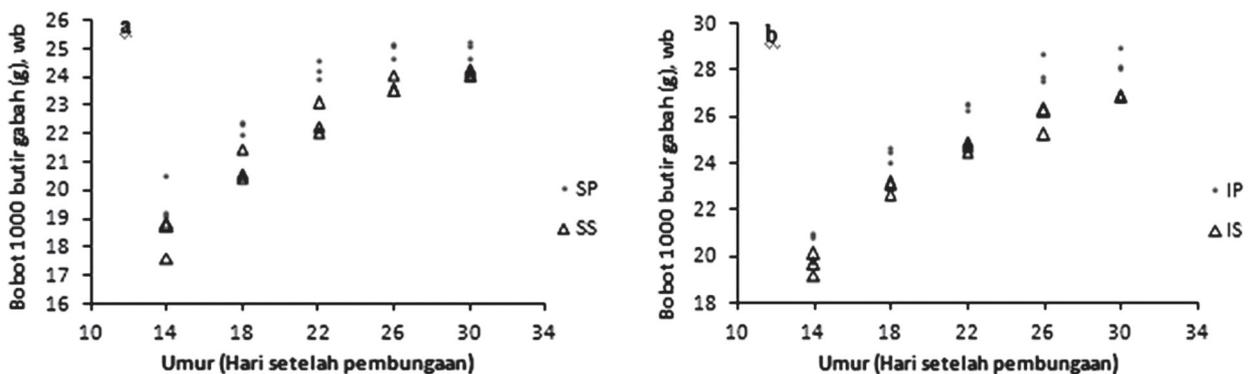
Dua varietas tanaman padi nasional yang terdiri dari Sintanur (ukuran medium) dan IPB-4S (ukuran ramping) dibudidayakan di lahan percobaan yang berukuran 6 m x 8 m dengan teknik budidaya sesuai dengan rekomendasi dan SOP agronomis. Sejumlah 3000 malai yang telah keluar bunga pada hari yang sama dari setiap varietas diberikan tanda, dan setiap 400 malai yang telah diberikan tanda tersebut dilakukan pemanenan untuk hari ke 14, 18, 22, 26, dan 30 setelah *anthesis* (pembungaan). Gabah yang telah dipanen kemudian dipisahkan antara gabah dari malai primer dan sekunder untuk kedua varietas, dan dilakukan pengukuran berat 1000 butir gabah dalam bentuk basis kering. Pengukuran kadar air gabah menggunakan metode oven dengan suhu pengeringan 100-105 °C dengan sampel berjumlah 10 g butir dan 3 kali pengulangan.

Perhitungan dilakukan untuk memperoleh parameter awal dari tiga model pertumbuhan yang telah disusun, yaitu model eksponensial, model logistik dan model Gompertz. Pendugaan pengisian gabah dari ketiga model tersebut menggunakan metode regresi non-linier berdasarkan data pengamatan dengan bantuan CurveExpert versi 2.40. Analisa hasil pendugaan model pengisian gabah dilakukan dengan data percobaan, dan hasil perbandingannya diplotkan dalam bentuk grafik. Uji kesesuaian model (*the goodness of the fit*) dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ), *root mean square error* (RMSE) dan *Akaike's Information Criterion* (AIC).

**Hasil dan Pembahasan**

**Parameter Pengisian Gabah**

Gambar *scatterplot* (diagram tebar) yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan hubungan antara bobot gabah dengan waktu pengisian gabah setelah fase pembungaan (*anthesis*). Hubungan persamaan model dari *scatterplot* kelompok gabah telah disesuaikan dari plot tebaran datanya (*fitted line plot*) sehingga dapat terlihat bahwa bentuk hubungan yang dibuat pola penyebaran datanya tidak mengikuti suatu garis lurus, tetapi mengikuti



Gambar 2. Pola tebaran data hubungan antara berat kering 1000 butir gabah dari malai primer dan sekunder terhadap waktu setelah pembungaan (a) varietas Sintanur (b) varietas IPB-4s.

Tabel 1. Hasil pendugaan parameter model.

Model	Varietas	Malai	Hasil perhitungan parameter					D
			$W_0$	$W_f$	$\mu$ eksponensial	$\mu$ logistik	$\mu_0$ gompertz	
Eksponensial	Sintanur	primer	6.411	-	0.042	-	-	-
		sekunder	5.616	-	0.044	-	-	-
	IPB-4S	primer	6.411	-	0.042	-	-	-
		sekunder	5.616	-	0.044	-	-	-
Logistik	Sintanur	primer	0.669	19.559	0.296	0.161	-	-
		sekunder	0.827	17.886	0.268	0.178	-	-
	IPB-4S	primer	0.669	19.559	0.296	0.093	-	-
		sekunder	0.827	17.886	0.268	0.116	-	-
Gompertz	Sintanur	primer	0.159	20.244	-	-	0.878	0.181
		sekunder	0.361	18.732	-	-	0.633	0.160
	IPB-4S	primer	0.159	20.244	-	-	0.878	0.181
		sekunder	0.361	18.732	-	-	0.633	0.160

pola non-linier seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.

Del Rosario *et al.* (1968) melaporkan bahwa akumulasi pati gabah di *amilophlas* terjadi pada hari ke-16 setelah berbunga yang dikontrol oleh pembesaran granula dan pembentukan granula baru. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian bahwa terjadi peningkatan berat kering gabah dari malai primer dan sekunder di kedua varietas sejak hari ke-14 setelah pembungaan.

### Pendugaan Pengisian Gabah

Perhitungan parameter awal berdasarkan data percobaan digunakan sebagai penduga parameter untuk masing-masing model dan selanjutnya diperbaiki dengan proses iterasi. Setelah hasil perhitungan parameter awal diperoleh, maka selanjutnya dilakukan pendugaan parameter pengisian gabah untuk model eksponensial, model logistik dan model Gompertz seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan pendugaan parameter dari ketiga model, nilai  $\mu$  untuk berat kering gabah dari malai primer lebih tinggi dari sekunder di kedua varietas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pertumbuhan dan jumlah asimilat yang masuk ke gabah dari malai primer lebih tinggi dari sekunder untuk kedua varietas. Nilai  $D$  untuk berat kering gabah dari malai primer lebih tinggi dari sekunder di kedua varietas, dan menunjukkan bahwa tahapan pematangan gabah dari malai primer terjadi lebih dulu dari sekunder. Penelitian ini menjelaskan bahwa gabah dari malai primer tidak hanya terisi lebih awal seperti yang dilaporkan Xu dan Vergara (1986) dan Dong *et al.* (2011), tetapi juga memiliki laju pertumbuhan dan jumlah asimilat yang lebih tinggi dari sekunder. Asimilat yang disalurkan dari *source* ke gabah dalam bentuk sukrosa yang selanjutnya diubah menjadi pati melalui enzim

katalis seperti *sucrose synthase* (SuSase), *ADP-Glucose pyrophosphorylase* (AGPase), *soluble starch synthase* (SSS) dan *starch branching enzyme* (SBE) (Ishimaru *et al.* 2005; Tang *et al.* 2009). Enzim-enzim tersebut memiliki peran yang penting selama fase pengisian gabah dan mempengaruhi terjadinya perbedaan laju pertumbuhan dan jumlah bobot diantara gabah dari malai primer dan sekunder (You *et al.* 2016).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai parameter dari masing-masing model pengisian untuk masing-masing gabah dari malai primer dan sekunder adalah sama di kedua varietas. Hal ini disebabkan karena asumsi yang digunakan dalam penyusunan masing-masing model adalah sama dan proses budidaya dalam penelitian ini dilakukan seragam dengan standar operasional agronomis yang sesuai untuk kedua varietas. Hasil pengamatan bobot gabah terhadap waktu diplotkan pada grafik seperti pada Gambar 3.

Penelitian menunjukkan bahwa hasil pengamatan bobot gabah dari malai primer dan sekunder di kedua varietas terhadap waktu mengikuti fungsi logistik dan Gompertz, terjadi peningkatan bobot gabah yang tinggi saat awal pengamatan dan kemudian lebih rendah saat akhir pengamatan. Selanjutnya perbandingan statistik diantara model disajikan pada Tabel 2.

Penelitian menunjukkan bahwa model logistik dan Gompertz memiliki nilai koefisien determinan  $\geq 98\%$ , lebih tinggi dibandingkan nilai dari model eksponensial ( $R^2 \leq 80\%$ ). Selanjutnya melalui uji kesesuaian, model Gompertz memiliki nilai RMSE dan AIC yang terkecil dibandingkan dari model eksponensial dan logistik. Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik model Gompertz lebih sesuai digunakan sebagai model pengisian gabah, sehingga model pengisian gabah dari malai primer dan sekunder di kedua varietas yang diperoleh

Tabel 2. Hasil perbandingan statistik model.

Varietas	Malai	Model	R2	RMSE	AIC
Sintanur	Primer	Ekspensial	0.755	0.869	17.713
		Logistik	0.995	0.486	-0.664
		Gompertz	0.999	0.224	-9.949
	Sekunder	Ekspensial	0.782	0.884	15.846
		Logistik	0.989	0.657	2.960
		Gompertz	0.997	0.353	-4.512
IPB-4S	Primer	Ekspensial	0.775	0.880	19.018
		Logistik	0.996	0.524	0.249
		Gompertz	1.000	0.131	-16.376
	Sekunder	Ekspensial	0.785	0.886	17.236
		Logistik	0.992	0.614	2.145
		Gompertz	0.999	0.266	-7.887

dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model pengisian gabah dari malai primer untuk varietas Sintanur,

$$W = 0.16 e^{(4.85 (1 - e^{(-0.18t)})} \tag{19}$$

2. Model pengisian gabah dari malai sekunder untuk varietas Sintanur,

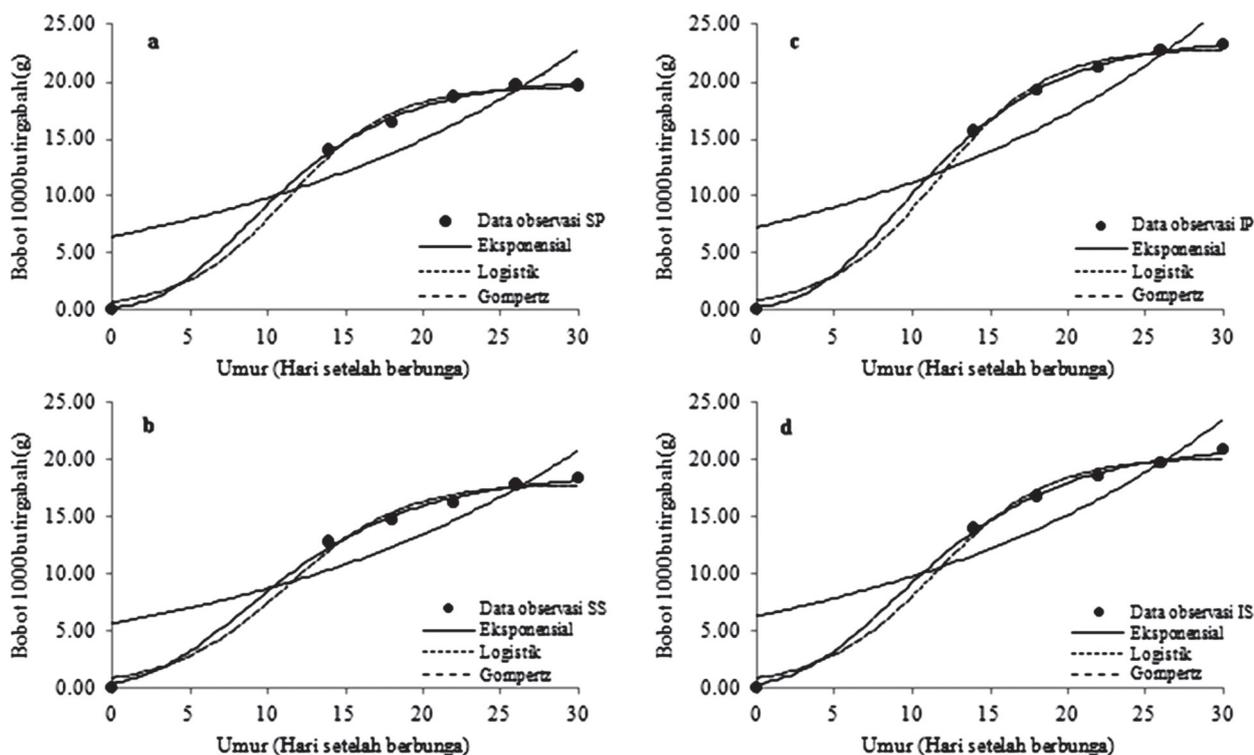
$$W = 0.36 e^{(3.96 (1 - e^{(-0.16t)})} \tag{20}$$

3. Model pengisian gabah dari malai primer untuk varietas IPB-4S,

$$W = 0.16 e^{(4.85 (1 - e^{(-0.18t)})} \tag{21}$$

4. Model pengisian gabah dari malai sekunder untuk varietas IPB-4S,

$$W = 0.36 e^{(3.96 (1 - e^{(-0.16t)})} \tag{22}$$



Gambar 3. Perubahan bobot kering gabah (W) terhadap waktu (t) (a) malai primer varietas Sintanur (b) malai sekunder varietas Sintanur (c) malai primer varietas IPB-4S (d) malai sekunder varietas IPB-4S.

Tabel 3. Hasil pendugaan durasi pengisian optimum dan bobot akhir gabah.

Varietas	Malai	Durasi pengisian optimum (hari)	Bobot akhir gabah (g)	
			5% Wf	95% Wf
Sintanur	Primer	22	1.012	19.232
	Sekunder	25	0.937	17.795
IPB-4S	Primer	23	1.190	22.617
	Sekunder	25	1.059	20.125

### Pendugaan Durasi Pengisian Optimum Dan Ukuran Bobot Akhir Gabah

Berdasarkan model terbaik pendugaan pengisian gabah model Gompertz, durasi pengisian optimum dan bobot akhir gabah dapat dilihat pada Tabel 3.

Penelitian menunjukkan bahwa durasi pengisian optimum yang lebih singkat dengan nilai bobot akhir gabah yang lebih tinggi adalah gabah dari malai primer dibandingkan sekunder di kedua varietas sintanur dan IPB-4S. Berdasarkan durasi optimum pengisian dan bobot akhir gabah, hasil penelitian selaras dengan penelitian Dong *et al.* (2011) yang menjelaskan gabah dari malai primer lebih superior dalam berkompetisi memperoleh asimilat dari tanaman padi dibandingkan dari malai sekunder. Zang *et al.* (2016) dalam penelitiannya juga memperoleh hasil bahwa gabah superior memiliki waktu pengisian lebih cepat dan bobot gabah yang lebih tinggi dibandingkan gabah inferior. Lebih lanjut Yang *et al.* (2001) dan You *et al.* (2016) melaporkan bahwa kandungan hormon tanaman yang tinggi pada fase pengisian seperti hormon ZR, IAA dan ABA menyebabkan gabah dari malai primer lebih superior dibandingkan sekunder.

### Simpulan

1. Pengisian gabah dari malai primer dan sekunder di kedua varietas Sintanur dan IPB-4S mengikuti persamaan logistik dan Gompertz dibandingkan persamaan eksponensial.
2. Berdasarkan uji kesesuaian  $R^2$ , RMSE dan AIC diperoleh model pendugaan terbaik yaitu model Gompertz untuk masing-masing berat kering gabah dari malai primer dan sekunder secara berturut-turut adalah 0.999, 0.224, -9.949 dan 0.997, 0.353, -4.512 (varietas Sintanur), 1.000, 0.131, -16.376 dan 0.999, 0.266, -7.877 (varietas IPB-4S), sehingga model pengisian gabah dari malai primer dan sekunder di kedua varietas Sintanur dan IPB-4S yang dihasilkan mengikuti model Gompertz.
3. Durasi pengisian gabah dari malai primer lebih singkat dibandingkan dari sekunder, secara berturut-turut selama 22 hari dan 25 hari untuk varietas Sintanur, dan selama 23 hari dan 25 hari untuk varietas IPB-4S.

4. Nilai bobot akhir gabah dari malai primer lebih tinggi dari sekunder, secara berturut-turut sebesar 20.24 g dan 18.37 g untuk varietas Sintanur, dan sebesar 23.81 g dan 21.18 g untuk varietas IPB-4s.

### Daftar Pustaka

- Adhiguna, R.T., Sutrisno, Sugiyono, R. Thahir. 2016. Comparison of physical properties, proximate composition and milling quality of rice grains from different branches within a panicle. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 7 (9): 1647- 1652.
- Del Rosario, A.R., V.P. Briones, A.J. Vidal, B.O. Yuliano. 1968. Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel. *Cereal Chemistry*. Vol. 45: 225-235.
- Dong, M.H., P.F. Chen, L.Y. Qiaozhong, X.Z. Wu, B.H. Zhao, Y.Y. Jiang, J.C. Yang. 2011. Quality response of grain in different spikelets positions to temperature stress during grain filling of rice. *Acta Agronomica Sinica*. Vol. 37(3): 506-513.
- Fujita, D., K.R. Trijatmiko, A.G. Tagle, M.V. Sapasap, Y. Koide, K. Sasaki. 2013. NAL1 allele from a rice landrace greatly increases yield in modern indica cultivars. *Proceedings of the National Academy of Science*. USA 110: 20431–20436.
- France, J., J.H.M. Thornley. 1984. *Mathematical models in Agriculture: a quantitative approach to problem in agriculture and related science*. 1nd Ed. Butterworths. Michigan.
- Ishimaru, T., T. Hirose, T. Matsuda, A. Goto, K. Takahashi, H. Sasaki. 2005. Expression patterns of genes encoding carbohydrate-metabolizing enzymes and their relationship to grain filling in rice (*Oryza sativa* L.): comparison of caryopses located at different positions in a panicle. *Plant Cell Physiology*. Vol. 46: 620–628.
- Koesmarno, H.K. 1995. Modelling and simulation of barley kernel growth. *Journal of Environmetrics*. Vol 6: 515–516.
- Loss, S.P., E.J.M. Kirby, K.H.M. Siddique, M.W. Perry. 1989. Grain growth and development of old and modern Australian wheats. *Field Crops Research*. Vol. 21:131-146.
- Makarim, A.K dan E. Suhartatik. 2009. *Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi*. Dalam Suyamto,

- Widiarta, Satoto (ed) Buku 1 Padi: Inovasi teknologi dan ketahanan Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Murtiningrum, A.P. Willy, D.L. Sewandan, W. Wishnu. 2011. Model matematika pertumbuhan jumlah anakan dan tinggi tanaman yang ditanam dengan metode SRI. *Jurnal Agroteknologi*. Vol. 5(2): 92-107.
- Ohsumi, A., T. Takai, M. Ida, T. Yamamoto, Y. Arai-Sanoh, M. Yano. 2011. Evaluation of yield performance in rice near-isogenic lines with increased spikelet number. *Field Crops Research*. Vol. 120: 68–75.
- Seki, M., F.G. Feugier, X.J. Song, M. Ashikari, H. Nakamura, K. Ishiyama, T. Yamaya, M. Inarikedada, H Kitano. 2015. A mathematical model of phloem sucrose transport as a new tool for designing rice panicle structure for high grain yield. *Plant and Cell Physiology*. Vol. 56(4): 605-619.
- Tang, T., X. Hong, X. Yu, L. Bing, S. Jian. 2009. The effect of sucrose and abscisic acid interaction on sucrose synthase and its relationship to grain filling of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*. Vol. 60: 2641–2652.
- Tashiro, T., I.F. Wardlaw. 1990. The effect of high temperature at different stages of ripening on grain set, grain weight and grain dimensions in the semi-dwarf wheat 'banks'. *Annals of Botany*. Vol. 65: 51–61.
- Terao, T., K. Nagata, K. Morino, T. Hirose. 2010. A gene controlling the number of primary rachis branches also controls the vascular bundle formation and hence is responsible to increase the harvest index and grain yield in rice. *Theoretical Applied Genetics*. Vol 120: 875–893.
- Xu, X.B., B.S. Vergara. 1986. Morphological changes in rice panicle development: a review of literature. *IRRI Research Paper Series*. Vol. 117: 1-13.
- Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu, W. Wang. 2001. Hormonal changes in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. *Plant Physiology*. Vol. 127: 315–323.
- You, C., H. Zhu, B. Xu, Huang, W., Wang, S., Ding, Y., Liu, Z., Li, Z., Chen, L., Ding, C., Tang, S. 2016. Effect of removing superior spikelets on grain filling of inferior spikelets in rice. *Frontiers in Plant Science* Vol. 7: 1-16.
- Young, J.M., Y.K. Ki, S.P. Hyun, C.K. Jong, C.S. Woon, K.N. Jeong, K.K. Bo, K.K. Jae. 2012. Changes in the panicle-related traits of different rice varieties under high temperature condition. *Australian Journal of Crop Science*. Vol. 6(3): 436-443.
- Zahedi, M., C.F. Jenner. 2003. Analysis of effect in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models on grain filling. *Journal of Agricultural Science*. Vol. 141: 203-212.
- Zang, W., Z. Cao, Q. Zhou, J. Chen, G. Xu, J. Gu, L. Liu, Z. Wang, J. Yang, H. Zang. 2016. Grain filling characteristics and their relations with endogenous hormones in large- and small-grain mutants of rice. Research article PLOS one. October 25. DOI:10.1371/journal.pone.0165321.