

SIMULASI VIGOR DAYA SIMPAN BENIH KEDELAI MENGUNAKAN MODEL SISTEM DINAMIK

Agus Hasbianto dan Muhammad Yasin¹⁾

ABSTRAK

Simulasi vigor daya simpan benih kedelai menggunakan model sistem dinamik. Salah satu permasalahan dalam pengembangan produksi kedelai (*Glycine max* L. Merr.) adalah daya simpan benih kedelai yang lebih pendek dibandingkan benih kelompok ortodoks lainnya. Oleh karena itu, pengembangan model simulasi vigor daya simpan benih kedelai yang disimpan secara terbuka sangat diperlukan. Salah satu penyebab pendeknya daya simpan benih kedelai adalah tingginya kandungan protein benih. Benih kedelai akan memiliki daya simpan yang panjang, jika viabilitas awal benih tinggi dan kadar air sebelum disimpan berada pada tingkat aman. Selain itu, penggunaan kemasan simpan yang kedap udara akan meningkatkan daya simpan benih karena mampu melindungi benih dari pengaruh lingkungan simpan. Pendugaan daya simpan benih kedelai dapat dilakukan secara cepat menggunakan model sistem dinamik berdasarkan simulasi vigor daya simpan benih (VDS). Model sistem dinamik simulasi vigor daya simpan benih kedelai dapat dijadikan alat bantu dalam penentuan mutu benih selama penyimpanan. Dengan menggunakan kemasan karung plastik, diperoleh tingkat koefisien determinasi (R^2) model sistem dinamik penyimpanan benih kedelai sebesar 0,929 untuk kedelai varietas Detam-1, nilai R^2 0,743 untuk kedelai varietas Anjasmoro, nilai R^2 0,964 untuk kedelai varietas Wilis, dan R^2 0,867 untuk kedelai varietas Tanggamus. Untuk mendukung aplikasi praktis model sistem dinamik penyimpanan benih kedelai, disarankan mengembangkan database konstanta kadar air keseimbangan benih kedelai guna meningkatkan kehandalan dari model (rata-rata $R^2 > 0,95$).

Kata kunci: *Glycine max*, vigor daya simpan, benih kedelai, model sistem dinamik.

ABSTRACT

Soybean seeds storability vigor simulation use a dynamical system model. One of main problems in developing soybean (*Glycine max* L. Merr.) production is soybean seeds have shorter

¹⁾ Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Kalimantan Selatan, e-mail: al_hasbi@yahoo.co.id; bptpkalsel@yahoo.com

Naskah diterima tanggal 21 Januari 2014; disetujui untuk diterbitkan tanggal 2 Februari 2014.

Diterbitkan di Buletin Palawija No. 27: 52–64 (2014).

storability than other orthodox seeds. Therefore, development of soybean seeds storability vigor simulation in open storage system is needed. The main cause of its is the high protein content of soybean seeds. Soybean seeds would have a long longevity, if the initial seed viability is high and also seed moisture content at a safe level. Furthermore, the using of impermeable packaging will increase the storability of seeds because it can protect seeds from the storage environment condition. Prediction of seed storability of soybean can be performed quickly by using system dynamics model based on soybean seed storability vigor simulation (VDS). The system dynamics model of soybean seeds storability can be used as a tool to determine of seed quality during storage. By using plastic bag, coefficient determination (R^2) of model is 0,929 for Detam-1, 0,743 of R^2 value for Anjasmoro, 0,964 of R^2 value for Wilis, and 0,867 of R^2 value for Tanggamus. To support the practical application of dynamic system modeling, it is recommended to develop database of soybean seed moisture equilibrium to enhance the model accuracy (R^2 average $> 0,95$).

Keywords: *Glycine max*, seed storability vigor, soybean seed, system dynamics model.

PENDAHULUAN

Kementerian Pertanian telah menetapkan kedelai sebagai salah satu komoditas pangan utama pertanian dengan target produksi sebesar 2,7 juta ton pada tahun 2014, sehingga bangsa Indonesia akan mampu berswasembada kedelai secara berkelanjutan. Namun demikian, menurut Simatupang (2012) dalam kurun waktu 20 tahun terakhir terjadi penurunan luas tanam hingga tinggal sepertiganya akibat penggantian fungsi lahan kedelai. Badan Litbang Pertanian (2005) mencatat bahwa usahatani kedelai umumnya dibudidayakan di lahan sawah setelah tanaman padi dengan pola tanam padi-palawija-sayuran atau padi-padi-palawija. Produksi kedelai pada lahan eksisting tersebut belum mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri yang mencapai 2,0 juta/tahun, sehingga perlu upaya perluasan areal tanam ke lahan masam di samping juga tetap memperhatikan peluang di lahan non masam dan perbaikan komponen teknologi budidaya (Sucahyono 2013).

Pola tanam kedelai menunjukkan bahwa terdapat jeda waktu antar musim tanam, sehingga memerlukan upaya penyimpanan untuk mempertahankan viabilitas benih agar tetap tinggi hingga saat ditanam pada musim berikutnya. Benih dengan viabilitas yang tinggi memiliki daya simpan yang lebih lama. Sebaliknya benih yang telah menunjukkan penurunan viabilitas, daya simpannya menurun atau mengalami kemunduran mutu (Hasbianto 2012). Benih kedelai meskipun tergolong kelompok ortodoks, dikenal sebagai benih berdaya simpan relatif pendek. Pada sistem penyimpanan terbuka, daya simpan benih kedelai dengan kadar air 11% hanya mencapai 3 bulan. Pada kondisi penyimpanan terkendali dengan suhu 18 °C dan kelembaban nisbi 65% daya simpannya dapat mencapai 6–9 bulan (Wirawan dan Wahyuni 2002). Kemunduran mutu benih secara cepat saat disimpan secara terbuka menjadi salah satu faktor pembatas produksi kedelai di daerah tropis (Sucahyono 2013). Untuk itu, perlu upaya pengembangan model simulasi vigor daya simpan benih kedelai.

Penentuan vigor daya simpan benih sebagai parameter mutu benih setelah disimpan umumnya dilakukan melalui serangkaian uji laboratorium. Beberapa penelitian terkait kuantifikasi mutu benih telah menghasilkan model-model statis daya simpan benih. Copeland dan McDonald (2001) menyatakan bahwa proses kemunduran benih bersifat kompleks. Pendapat serupa dikemukakan oleh Qadir *et al.* (2013), yang menyatakan bahwa kemunduran benih dalam penyimpanan merupakan sistem yang dinamik, sehingga model sistem dinamik lebih tepat digunakan dalam mensimulasi vigor daya simpan benih kedelai.

DAYA SIMPAN BENIH DAN FAKTOR YANG MEMPENGARUHINYA

Sadjad *et al.* (1999) mendefinisikan daya simpan (DS) benih sebagai kemampuan lamanya benih disimpan, sehingga DS merupakan perkiraan waktu benih mampu untuk disimpan. Daya simpan merupakan parameter viabilitas benih dalam satuan waktu untuk suatu periode simpan, sehingga memiliki peran yang penting dalam kaitannya dengan penyimpanan benih.

Justice dan Bass (1994) menyebutkan 10 faktor yang mempengaruhi daya simpan benih yaitu pengaruh genetik, kondisi sebelum panen, struktur dan komposisi benih, benih keras, kemasakan benih, ukuran benih, dormansi

benih, kadar air benih, kerusakan mekanik dan vigor.

Pengaruh Genetik

Suhartanto (2013) mengemukakan bahwa secara genetik setiap jenis benih memiliki daya simpan berbeda. Bewley dan Black (1985) menyatakan bahwa faktor genetik yang mempengaruhi daya simpan benih dari aspek perbedaan varietas, yaitu varietas berbeda akan menunjukkan karakteristik viabilitas yang berbeda pada kondisi simpan yang sama. Krzyzanowski *et al.* (2008) menyebutkan pengaruh genetik selain perbedaan varietas yaitu kandungan lignin pada kulit benih. Semakin tinggi kandungan lignin benih kedelai, semakin lama daya simpannya. Lignin berperan meningkatkan daya simpan benih diantaranya melalui resistensi terhadap gangguan mikroorganisme. Selama periode simpan 12 bulan pada ruangan dengan suhu 10 °C, ternyata kandungan lignin kulit benih 12 varietas kedelai tidak menunjukkan perubahan yang nyata.

Marwanto (2004) menemukan bahwa kedelai dengan warna kulit hitam memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan kedelai berwarna kuning, sehingga kedelai hitam memiliki permeabilitas yang lebih rendah dan kemunduran mutu benih lebih lambat.

Pengaruh Struktur dan Komposisi Benih

Penurunan viabilitas benih kedelai secara cepat terutama disebabkan oleh tingginya kandungan protein dan kondisi lingkungan tropis dengan kelembaban yang tinggi (Hasbianto A 2012). Protein merupakan kandungan kimia yang paling banyak dalam benih kedelai yang memiliki sifat mudah menyerap dan menahan uap air (higroskopis), sehingga berperan penting dalam peningkatan kadar air (KA) benih. Sedangkan karbohidrat kurang higroskopis dan lipida bersifat hidrofobis (daya tarik terhadap air rendah) (Justice dan Bass 1994).

Beberapa varietas kedelai dalam negeri mengandung protein yang tinggi berkisar 36,9 sampai 45,6% dan kandungan lemak antara 13,0 sampai 19,6%, sedangkan kedelai impor mengandung protein yang lebih rendah yaitu 36,8% dan lemak yang lebih tinggi yaitu 21,7% (Ginting dan Tastra 2007).

Selain protein, ketebalan dan struktur kulit benih merupakan faktor yang mempengaruhi

penyerapan dan penahanan uap air oleh benih (Justice dan Bass 1994). Kulit benih (testa) merupakan karakter morfologi penting bagi benih kedelai karena menentukan proses fisiologis embrio, sekaligus menjadi penutup dan pelindung embrio. Biji kedelai yang ada di Indonesia memiliki ketebalan kulit yang berbeda-beda. Ketebalan lapisan epidermis berkisar antara 0,040 mm (genotipe MLG 2759 dan MLG 3311) hingga 0,070 mm (MLG 3051). Ketebalan total kulit berkisar antara 0,245 mm (genotipe MLG 2648) hingga 0,445 mm (MLG 2989) (Adie dan Krisnawati 2007).

Pengaruh Viabilitas Awal

Viabilitas awal berperan besar jika benih mengalami periode simpan panjang dalam kondisi tidak ideal (Ilyas 1986). Lot benih yang baru dan memiliki viabilitas tinggi mempunyai daya simpan yang lebih lama (Saenong 1982).

Benih yang telah mengalami kemunduran baik secara alami (deteriorasi) maupun kemunduran buatan (devigorasi) akan menunjukkan nilai viabilitas yang rendah, sehingga akan memiliki periode simpan yang lebih pendek. Benih dengan viabilitas awal sebelum simpan yang tinggi, akan menunjukkan nilai Vigor Daya Simpan (VDS) yang tinggi. Daya simpan benih akan semakin panjang dengan semakin tingginya VDS (Hasbianto 2012).

Kartika (2013) mengemukakan beberapa faktor yang mempengaruhi viabilitas benih pada saat diproduksi di lapang, yaitu mutu sumber benih, ketersediaan air dan hara selama proses produksi, kebersihan lahan produksi dari tanaman pengganggu dan organisme lain, suhu yang optimum di lapang, serta cahaya yang cukup bagi tanaman. Selain itu, setelah dihasilkan benih dengan viabilitas awal yang tinggi maka perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi viabilitas benih selama proses penanganan sebelum ditanam kembali, yaitu menjaga kadar air tetap rendah, memisahkan kotoran benih, penggunaan kemasan benih yang kedap udara dan menempatkan benih pada ruang penyimpanan yang dingin, kering dan bersih.

Pengaruh Kadar Air Benih

Air yang berada di dalam benih merupakan suatu sistem yang kompleks dan memiliki peran penting dalam aktivasi enzim, translokasi dan penggunaan cadangan bahan simpan. Kadar air yang rendah menyebabkan metabolisme

benih dalam kondisi yang relatif tidak aktif (kondisi quiescence), yang memungkinkan benih tetap berada pada tingkatan terendah dari aktivitas metabolisme sehingga menjamin benih tersebut dapat bertahan lama selama penyimpanan (Copeland dan McDonald 1995).

Kadar air selama penyimpanan merupakan faktor yang paling mempengaruhi masa hidup dan umur simpan benih (Justice dan Bass 1994). Suhartanto (2013) mengemukakan bahwa kemunduran benih meningkat sejalan dengan meningkatnya kadar air benih, sehingga kadar air merupakan faktor yang mempengaruhi masa hidup benih.

Hasil penelitian Tatipata *et al.* (2004) menunjukkan bahwa viabilitas benih kedelai dengan kadar air awal 6 sampai 8% tetap tinggi setelah disimpan selama enam bulan. Hasil yang sama ditunjukkan Zahrok (2007), yaitu benih kedelai yang disimpan dengan kadar air 7 dan 9% memiliki viabilitas lebih dari 90% setelah disimpan empat bulan. Yaja *et al.* (2005) mengemukakan terjadinya penurunan daya berkecambah benih kedelai yang disimpan dengan kadar air enam persen pada suhu 15 °C dari 93% menjadi 76% setelah disimpan 16 minggu. Sadjad (1980) mengemukakan bahwa viabilitas benih kedelai yang disimpan dengan kadar air 14% turun setelah periode simpan tiga bulan. Menurut (Halloin 1986), Kadar air benih senantiasa berkeseimbangan dengan kelembaban relatif udara lingkungan simpan, sehingga peningkatan kelembaban relatif udara akan mengakibatkan terjadinya peningkatan kadar air benih.

Hubungan kadar air dengan daya simpan benih, dinyatakan dalam kaidah Harrington (1972) yaitu setiap penurunan kadar air benih satu persen akan meningkatkan daya simpan benih dua kali lipat. Sebaliknya, setiap peningkatan kadar air benih satu persen akan menurunkan daya simpan benih menjadi setengahnya. Kaidah ini berlaku untuk kisaran kadar air 5 sampai 14%. Pada kadar air kurang dari 5% akan terjadi kerusakan membran yang akan mempercepat kemunduran benih. Pada kadar air lebih dari 14% dapat mempercepat kemunduran benih karena meningkatnya respirasi, suhu dan kemungkinan adanya serangan cendawan (Copeland dan McDonald 1995).

Pengaruh Suhu Lingkungan Simpan

Justice dan Bass (1994) menyatakan bahwa

selain kadar air, suhu penyimpanan juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi masa hidup benih. Benih yang disimpan pada suhu dan lingkungan alami, kadar airnya akan meningkat seiring dengan semakin lamanya periode simpan dan akan mengalami keseimbangan dengan lingkungan.

Pada suhu rendah respirasi berjalan lambat dibanding suhu tinggi, sehingga viabilitas benih dapat dipertahankan lebih lama. Penyimpanan benih kedelai dalam suhu kamar selama 6 sampai 10 bulan aman pada kadar air tidak lebih dari 11%. Suhu di tempat penyimpanan benih dipengaruhi langsung oleh lingkungan di sekitar dan juga oleh kegiatan respirasi oleh benih atau mikroorganisme (Harrington 1972). Semakin tinggi suhu maka laju kemunduran viabilitas benih akan semakin meningkat (Copeland dan McDonald 1995).

Suhu lingkungan simpan mempengaruhi kondisi membran benih. Vieira *et al.* (2008) menemukan bahwa benih yang disimpan pada suhu 10 °C memperlihatkan membran yang jelas lebih stabil dibandingkan benih yang disimpan pada suhu 30 °C. Integritas membran dipengaruhi oleh integritas protein yang terganggu akibat dari proses hidrolisis larutan gula dalam benih.

Hubungan suhu dengan daya simpan benih, dinyatakan dalam kaidah Harrington (1972) yaitu untuk setiap kenaikan suhu 5 °C pada tempat penyimpanan maka umur benih akan menjadi setengahnya. Demikian juga sebaliknya, jika suhu tempat penyimpanan turun 5 °C maka umur benih menjadi dua kalinya. Kaidah tersebut berlaku pada kisaran suhu 0 °C sampai 50 °C (Copeland dan McDonald 1995).

Pengaruh Kemasan Simpan

Peran utama kemasan adalah untuk melindungi bahan yang dikemas dari kerusakan dan pengaruh luar, hingga bahan tersebut digunakan sesuai dengan tujuannya (Marsh dan Bugusu 2007). Pengemasan benih merupakan tindakan memberikan lingkungan mikro yang optimal agar benih tidak dipengaruhi oleh faktor lingkungan selama penyimpanan benih. Prinsip utama pengemasan adalah menjaga kadar air dan respirasi benih tetap rendah dan tidak dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu di sekitarnya (Suhartanto 2013). Benih kedelai yang disimpan pada kemasan yang dapat menahan uap air mampu mempertahankan viabilitas yang tinggi dibandingkan kemasan yang per-

meabel atau porous terhadap uap air (Arulnandhy dan Senanayake 1984).

Hal yang penting dalam pengemasan adalah bahwa bahan pengemas dapat menahan masuknya uap air. Sifat permeabilitas bahan pengemas terhadap uap air sangat penting untuk mempertahankan kadar air serta viabilitas benih. Sifat penting lainnya adalah bahwa kemasan harus mudah direkatkan (*sealability*) dan memiliki elastisitas yang baik, harga terjangkau dan mudah diperoleh (Barlian 1990).

Pengaruh kemasan terhadap benih dapat dilihat dari dua aspek yaitu aspek fisik dan fisiologis. Pengaruh kemasan dari aspek fisik dapat diketahui dari warna, bobot, kadar air, dan kerusakan mekanis yang diperlihatkan benih. Sementara dari aspek fisiologis dapat diketahui dari viabilitas benih (Sudikno 1977).

Hasil penelitian pengaruh kemasan terhadap viabilitas benih kedelai varietas Anjasmoro menunjukkan bahwa semakin kedap kemasan maka semakin baik dalam melindungi benih dari pengaruh lingkungan simpannya. Benih kedelai varietas Anjasmoro dengan viabilitas (DB) awal 93% dan disimpan selama 4 bulan pada ruang terbuka menggunakan kemasan aluminium foil masih memiliki viabilitas atau vigor daya simpan (VDS) 70%. Sementara benih yang disimpan menggunakan kemasan karung plastik memiliki viabilitas (VDS) 32% (Hasbianto 2012).

MODEL PENYIMPANAN BENIH

Penyimpanan benih merupakan sebuah sistem yang didalamnya terdiri dari berbagai komponen yang saling berinteraksi melalui suatu proses, sehingga mekanisme yang berlangsung cukup rumit untuk dijelaskan dan perlu dilakukan penyederhanaan melalui kegiatan pemodelan. Model sebagai representasi dari suatu masalah merupakan pendekatan yang dibuat berdasarkan pengetahuan yang telah dimiliki dan dibangun dengan menghubungkan faktor-faktor utama yang berperan dalam suatu sistem. Pemodelan sebagai penyederhanaan dari suatu sistem memerlukan adanya pembatasan, terutama terkait dengan faktor-faktor yang menjadi variabel dalam model yang dibentuk.

Model dapat dibagi menjadi beberapa tipe, meskipun sebuah model yang dibangun dapat terdiri atas beberapa tipe sekaligus misalnya dinamik, mekanistik dan numerik. Beberapa tipe

model tersebut yaitu (i) Model Fisik dan Mental, (ii) Model Deskriptif dan Numerik, (iii) Model empirik dan mekanistik, (iv) Model Statik dan Dinamik, serta (v) Model Deterministik dan Stokastik (Handoko 2005). Kemunduran benih dalam penyimpanan merupakan sistem yang dinamik, sehingga model dinamik lebih tepat digunakan dalam penilaian atau pendugaan kemunduran (Qadir *et al.* 2013).

Model Statik

Model statik tidak memasukkan faktor waktu sebagai suatu variabel dan variabel lainnya dianggap tetap (Handoko 2005). Umumnya model statik berupa persamaan-persamaan matematis. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkuantifikasi daya simpan benih dan mendapatkan persamaan matematis.

Model pendugaan daya simpan benih dibangun berdasarkan hubungan antara daya simpan dengan faktor yang paling berpengaruh, yaitu kadar air benih dan suhu penyimpanan (Roberts diacu dalam Hong dan Ellis 1996). Kuantifikasi hubungan antara suhu, kadar air dan viabilitas benih selama periode simpan yang dilakukan dengan dua pendekatan (teori dan empiris) telah dinyatakan oleh Roberts (1972) dalam bentuk persamaan berikut:

$$\text{Log } \rho_{50} = K_v - C_1 m - C_2 t \dots\dots\dots (1)$$

di mana ρ_{50} adalah waktu yang diperlukan hingga benih kehilangan 50% viabilitasnya (hari), K_v , C_1 , dan C_2 merupakan konstanta spesifik spesies, m adalah kadar air (%), dan t merupakan suhu ($^{\circ}\text{C}$).

Persamaan tersebut telah dinyatakan memiliki kecocokan yang sangat baik dengan berbagai data observasi, sehingga dapat digunakan untuk menduga periode simpan beberapa spesies diantaranya padi ($\log p50 = 6,531 - 0,159 m - 0,069 t$), gandum ($\log p50 = 5,067 - 0,108 m - 0,050 t$), dan barley ($\log p50 = 6,745 - 0,172 m - 0,075 t$). Periode simpan dapat disimulasi menggunakan rumus-rumus tersebut, sehingga Roberts mengajukan nomografi periode simpan dengan variasi kadar air dan suhu ruang simpan (Sadjad 1994).

Persamaan tersebut selanjutnya diverifikasi melalui berbagai penelitian dengan menggunakan berbagai spesies, sehingga akhirnya mencapai puncaknya yang dinamakan persamaan viabilitas yang dikemukakan oleh Ellis dan Roberts (Ellis dan Hong 2006). Persamaan viabilitas terdiri dari dua komponen, yaitu:

Komponen (1):

$$v = K_i - \frac{\rho}{\sigma} \dots\dots\dots (2)$$

di mana v : viabilitas benih (probit), σ : simpangan baku distribusi frekuensi kematian benih pada periode tertentu yang menggambarkan waktu yang diperlukan viabilitas benih untuk turun satu probit (hari), p merupakan periode simpan (hari), dan K_i : intersep atau viabilitas awal sebelum simpan (probit).

Komponen (2):

$$\log \sigma = K_E - C_w \log m - C_H t - C_q t^2 \dots (3)$$

di mana σ adalah hubungan antara waktu yang diperlukan viabilitas benih untuk turun satu probit (hari), t = suhu ruang simpan ($^{\circ}\text{C}$), m = kadar air (% wb), dan K_E , C_w , C_H , C_q merupakan konstanta spesifik komoditas.

Penelitian kuantifikasi terkini terhadap daya simpan benih dilakukan oleh Wang (2010). Wang *et al.* (2010) juga membuat hubungan antara waktu tercapainya kadar air keseimbangan dengan kadar air awal, kelembaban relatif (RH) dan suhu ruang simpan. Hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk model regresi berganda, yaitu :

$$d = 23,29 + 3,72x - 0,19y - 0,86z - 0,02xy - 0,09xz - 0,008yz + 0,005y^2 + 0,03z^2 \dots (4)$$

(untuk kedelai varietas Liaodou 11)

$$d = 48,64 + 0,36x - 0,44y - 1,49z - 0,008yz + 0,006y^2 + 0,026z^2 \dots\dots\dots (5)$$

(untuk kedelai varietas Hedou 13).

Pengaruh jenis kemasan terhadap daya simpan benih telah diketahui dari beberapa hasil penelitian, namun demikian pengaruh jenis kemasan tersebut belum dimasukkan sebagai variabel atau faktor penduga variabel dalam model pendugaan daya simpan benih. Pengaruh kemasan yang diintegrasikan dalam model pendugaan umur simpan produk telah dikembangkan pada produk pangan, di antaranya adalah Model Rudolph diacu dalam Arpah (2007) yaitu:

$$t_{\text{gain}} = \frac{W_s}{J_{\text{H}_2\text{O}} \times A} \dots\dots\dots (6)$$

Model tersebut menentukan umur simpan produk.

di mana t_{gain} : total penetran uap air pada waktu (t), W_s : berat kering produk (g), A : luas pengeemasan (m^2).

Model pendugaan umur simpan terhadap produk pangan lainnya yang banyak digunakan adalah Model Labuza dan Model Waktu Paruh Syarief (Arpah 2007). Labuza menyatakan bahwa degradasi faktor mutu produk yang disimpan seperti perubahan sifat fisik (tekstur, kebasian, memburuk/busuk), perubahan sifat kimia (ketengikan, perubahan zat gizi), perubahan sifat mikrobiologi (pertumbuhan patogen, pembentukan lendir) maupun perubahan sifat organoleptik (rasa, bau, warna dan aroma) disebabkan karena pengaruh lingkungan simpan, di antaranya suhu, kelembaban relatif (RH), konsentrasi oksigen di dalam kemasan, cahaya, aktivitas air maupun permeabilitas kemasan. Model Labuza dinyatakan sebagai berikut:

$$T_{\text{gain}} = \left[\frac{\text{Ln} \left[\frac{M_e - M_i}{M_e - M_t} \right]}{\left[\frac{P}{X} \right] \times \left[\frac{A}{Ws} \right] \times \left[\frac{Po}{b} \right]} \right] \dots\dots\dots (7)$$

di mana M_e : kadar air kesetimbangan produk dengan lingkungan (%), M_i : kadar air awal produk (%), M_t : kadar air pada waktu (t) (%), P/X adalah karakteristik permeabilitas pengemas ($g/hari/m^2/mmHg$), A : luas pengemas (m^2), Ws : berat kering produk (g), Po : tekanan parsial uap air jenuh pada suhu percobaan ($mmHg$), dan B : slope kurva moisture sorption isothermis pada daerah linier.

Model Labuza tersebut memiliki beberapa asumsi dasar, yaitu (i) laju penetrasi uap air berlangsung dalam keadaan yang tetap (steady-state), (ii) pengemas dengan permeabilitas (P) merupakan faktor resistensi utama penyerapan uap air pada produk, (iii) *moisture sorption isothermis* dari produk linier pada kisaran tertentu, (iv) laju penetrasi uap air sebanding dengan perbedaan tekanan uap air parsial, (v) laju transfer uap air berlangsung homogen, dan (vi) pengemas sempurna dan tidak memiliki kebocoran.

Model Waktu Paruh Syarief memiliki kesamaan dengan Model Rudolph dalam prosedur penentuan umur simpan. Waktu paruh (half value periode, HVP) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan oleh kadar air produk untuk bergerak separuh jalan antara kadar air awal (M_i) dengan kadar air yang akan diperoleh bila keseimbangan dengan kondisi penyimpanan telah tercapai (M_e). Model Waktu Paruh Syarief dinyatakan sebagai berikut:

$$HPV = \left[\frac{X \times Ws \times b}{P \times A \times Po} \right] \log 2 \dots\dots\dots (8)$$

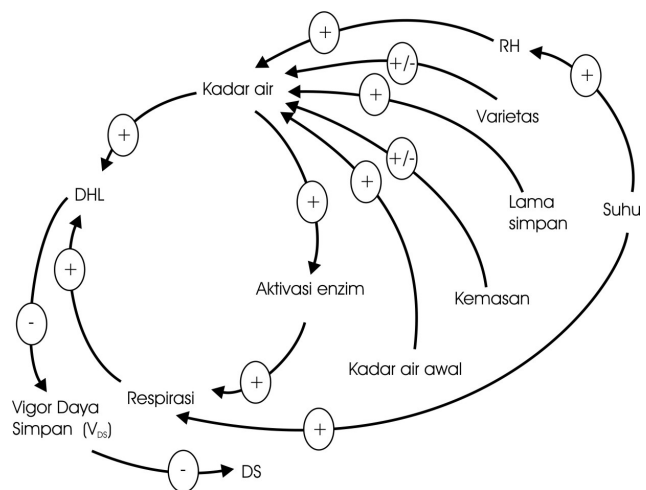
Besaran $\{(P.A.Po)/(Wx.X.b)\}$ merupakan slope dari kurva hubungan kadar air $\log \{(Me-Mi)/(Me-Mt)\}$ dengan waktu t, selanjutnya dengan bantuan grafik dapat dikonversikan nilai HVP menjadi umur simpan (Arpah 2007).

Model Dinamik

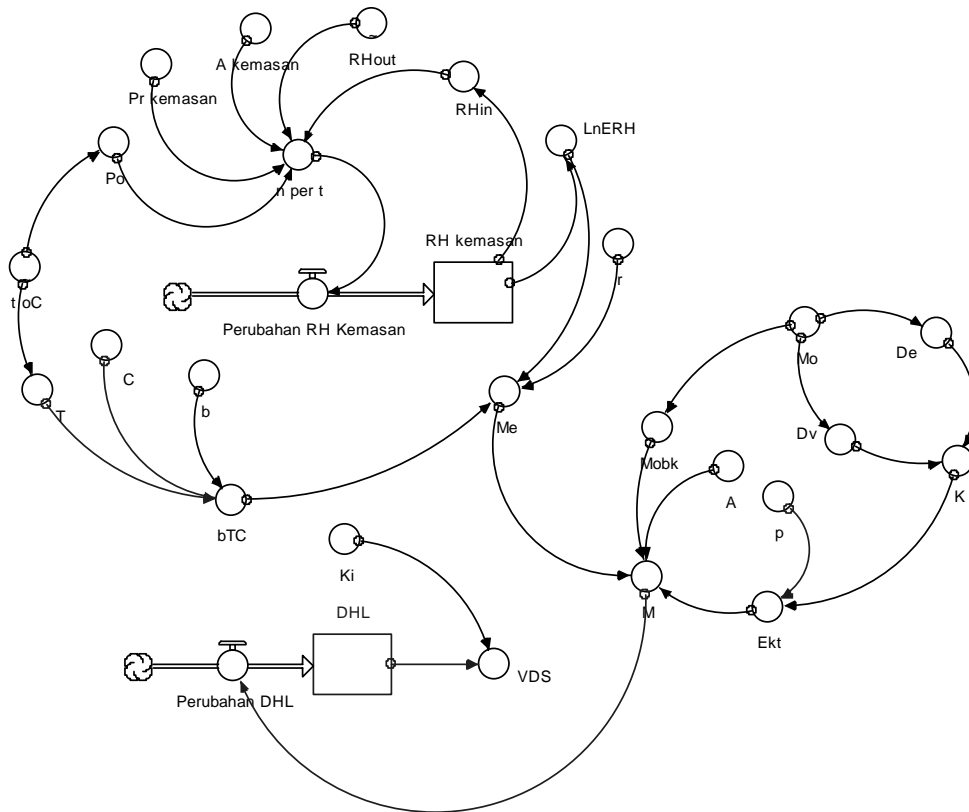
Model Dinamik memasukkan faktor waktu, sehingga semua variabel berubah atau dipengaruhi oleh waktu, sedangkan nilai yang tetap selama simulasi disebut konstanta atau parameter dan tidak disebut variabel (Handoko 2005). Model dinamik telah banyak disusun dalam kaitannya dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, namun sangat terbatas untuk produksi benih dan penyimpanannya.

Hasbianto (2012) telah menyusun sebuah model dinamik pendugaan daya simpan benih kedelai. Beberapa tahapan penyusunan model tersebut, di antaranya penyusunan causal loop diagram penyimpanan benih (Gambar 1), penyusunan struktur model (Gambar 2), dan simulasi serta validasi model dengan uji t, koefisien determinasi (R2), dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

Penyimpanan benih dilakukan dengan tujuan utama untuk mempertahankan Vigor Daya Simpan (VDS) benih tetap tinggi, seperti dideskripsikan pada Gambar 1. Faktor utama yang mempengaruhi VDS adalah kadar air benih (Justice dan Bass 1994), yang selama penyimpanan dapat meningkat melalui proses absorpsi uap air dari lingkungan simpan. Proses absorpsi



Gambar 1. Causal Loop Diagram penyimpanan benih kedelai



Gambar 2. Struktur model penyimpanan benih sistem terbuka.
 Sumber: Hasbianto 2012.

uap air oleh benih dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis kemasan simpan yang digunakan, varietas, umur atau lama simpan, kadar air awal dan kelembaban relatif lingkungan simpan. Kelima faktor tersebut saling berkaitan dalam mempengaruhi laju absorpsi uap air oleh benih. Kelembaban relatif lingkungan menentukan jumlah uap air yang tersedia di sekitar lingkungan simpan. Jenis kemasan akan menentukan jumlah uap air yang masuk dan tersedia di sekitar benih. Varietas akan menentukan tingkat serapan uap air berdasarkan kandungan kimia benih. Umur atau lamanya benih disimpan berkaitan dengan waktu berlangsungnya absorpsi, sementara kadar air awal menentukan laju absorpsi uap air oleh benih.

Berdasarkan *causal loop diagram* benih (Gambar 1), peubah yang digunakan sebagai penduga daya simpan benih pada sistem penyimpanan terbuka adalah vigor daya simpan benih (VDS) sehingga model ini diberi nama *Soybean Seed Vigor in Open Storage System* (soyVios) (Hasbianto 2012). Struktur model penyimpanan benih kedelai ditampilkan pada Gambar 2.

Mengacu pada struktur model penyimpanan benih sistem terbuka, berikut disajikan persamaan matematik yang digunakan dalam simulasi vigor benih kedelai selama penyimpanan (VDS).

- a. Persamaan permeabilitas kemasan (PK) (Arpah 2007)

$$PK = \frac{n/t}{A(RH_{out} - RH_{in}) \times Po} \dots\dots\dots 9$$

di mana n/t = jumlah air terserap per hari ($g.hari^{-1}$), A = luas permukaan kemasan (m^2), RH_{out} = RH luar (%), RH_{in} = RH dalam (%) kemasan, Po = tekanan uap air jenuh ($mmHg$).

- b. Persamaan Kadar Air Keseimbangan (Osborn *et al.* 1989).

$$EMC = (-exp((b \cdot T) + C / \ln(ERH)))^{1/r} \dots\dots\dots 10$$

di mana EMC: kadar air keseimbangan biji kedelai (% basis kering, bk), ERH: kelembaban (desimal), T: suhu ($^{\circ}C$), b : -0,0054, C : 2,87, r : 1,38.

- c. Persamaan Perubahan kadar Air Benih (Handerson dan Perry 1976).

$$\frac{M - Me}{Mo - Me} = A \cdot e^{-k \cdot \theta} \dots\dots\dots 11$$

di mana, M: Kadar air benih setelah perubahan (%), Mo: Kadar Air Awal (%), Me: Kadar air kesetimbangan (%), A: Luas permukaan benih kedelai (m²), 0: waktu (hari), K: koefisien difusitas.

d. Persamaan Vigor Daya Simpan Benih (VDS) (Taliroso 2008)

$$VDS = (Ki \cdot 100) + (70,78 - 3,6431 \cdot DHL + 0,00434 \cdot DHL^2) \dots (12)$$

di mana VDS: Vigor Daya Simpan Benih Kedelai (%), Ki: Viabilitas awal benih (%), DHL: Daya Hantar Listrik (μS.cm⁻¹.g⁻¹).

e. Persamaan Perubahan Daya Hantar Listrik (DHL)

$$DHL(t) = DHL(t-dt) + \frac{\text{Perubahan DHL}}{dt} \dots\dots\dots (13)$$

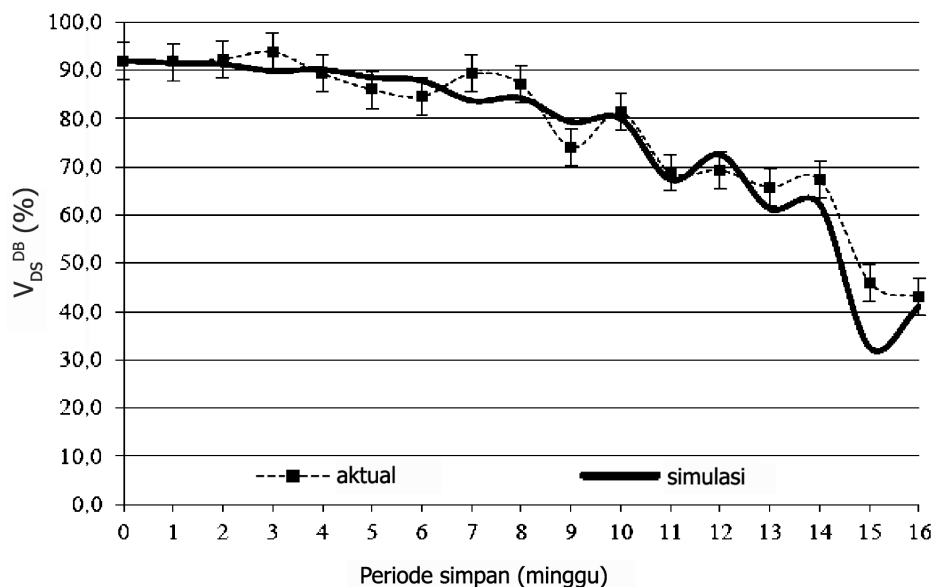
di mana: DHL (t): DHL benih kedelai pada waktu tertentu (μS.cm⁻¹.g⁻¹).

Perubahan DHL menggunakan persamaan: if M ≤ 12,97 then + 0,08 else if M > 12,97 then + 0,1 else 0, di mana M adalah kadar air benih selama penyimpanan (%).

Berdasarkan hasil verifikasi, secara kualitatif model menunjukkan kesesuaian antara VDS hasil aktual dengan simulasi untuk varietas Detam-1 hingga akhir periode simpan (16 minggu), yang didasarkan pada data hasil

simulasi yang berada dalam selang kepercayaan (1-α = 0,95) dari hasil aktual. Model juga diverifikasi secara kuantitatif menggunakan uji-t, yang menunjukkan adanya kesesuaian hasil simulasi terhadap hasil aktual pada peubah VDSDB selama 16 minggu dengan nilai p-value (0,164) yang lebih besar dari nilai α (0,05), berarti hasil simulasi tidak berbeda nyata dengan hasil aktual. Dengan demikian, model dinamik tersebut dapat digunakan untuk menduga daya simpan benih kedelai yang disimpan secara terbuka. Sadjad (1994) menyatakan bahwa selain daya berkecambah, Daya Hantar Listrik (DHL) merupakan variabel yang dapat digunakan untuk menentukan VDS.

Model sistem dinamik dapat mensimulasi vigor daya simpan (VDS) benih kedelai varietas Anjasmoro sebagai fungsi dari DHL dengan tingkat koefisien determinasi (R²) masing-masing sebesar 0,743, 0,733, dan 0,722 untuk kemasan karung plastik, plastik PP, dan aluminium foil (Tabel 1). Berdasarkan uji validasi menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*) model memiliki nilai < 1 untuk pendugaan kemasan plastik PP dan aluminium foil sehingga model dapat digunakan untuk mensimulasi vigor daya simpan benih kedelai. Namun untuk kemasan karung plastik nilai RMSE model hampir dua kali lipat (1,95) dibanding nilai RMSE kemasan plastik PP dan aluminium foil (Tabel 1). Hal ini diduga karena kemasan karung plastik tidak dapat melindungi benih dari pengaruh lingkungan simpan sehingga



Gambar 3. Verifikasi model sistem dinamik penyimpanan benih kedelai berbiji besar

Sumber: Hasbianto 2012.

model tidak dapat mensimulasi dengan baik perilaku vigor daya simpan benih kedelai aktual yang perubahannya mengikuti pola perubahan lingkungan simpan.

SoyVios juga dapat menduga VDS benih kedelai varietas Detam-1, Wilis dan Tanggamus yang disimpan menggunakan kemasan karung plastik dalam sistem penyimpanan terbuka (Tabel 2). Model dapat mensimulasi dengan cukup baik VDS benih kedelai tiga varietas tersebut dengan nilai koefisien determinasi 0,867 sampai dengan 0,964 (Gambar 4). Berdasarkan uji validitas menggunakan RMSE, model dapat memberikan nilai dugaan yang sesuai (*goodness of fit*) untuk varietas Detam-1 dengan nilai RMSE 0,98% dan varietas Anjasmoro dengan RMSE 1,95%. Namun untuk dua varietas lainnya menunjukkan nilai RMSE-nya lebih tinggi, hampir dua kali lipat. Adanya perbedaan nilai RMSE yang cukup kontras antara varietas kedelai diduga berkaitan dengan ukuran benih dan komposisi kimia benih yang berkaitan dengan laju perubahan kadar air benih dan DHL. Model dapat mensimulasi dengan baik vigor daya simpan benih kedelai berukuran besar (Detam-1 dan Anjasmoro), namun masih

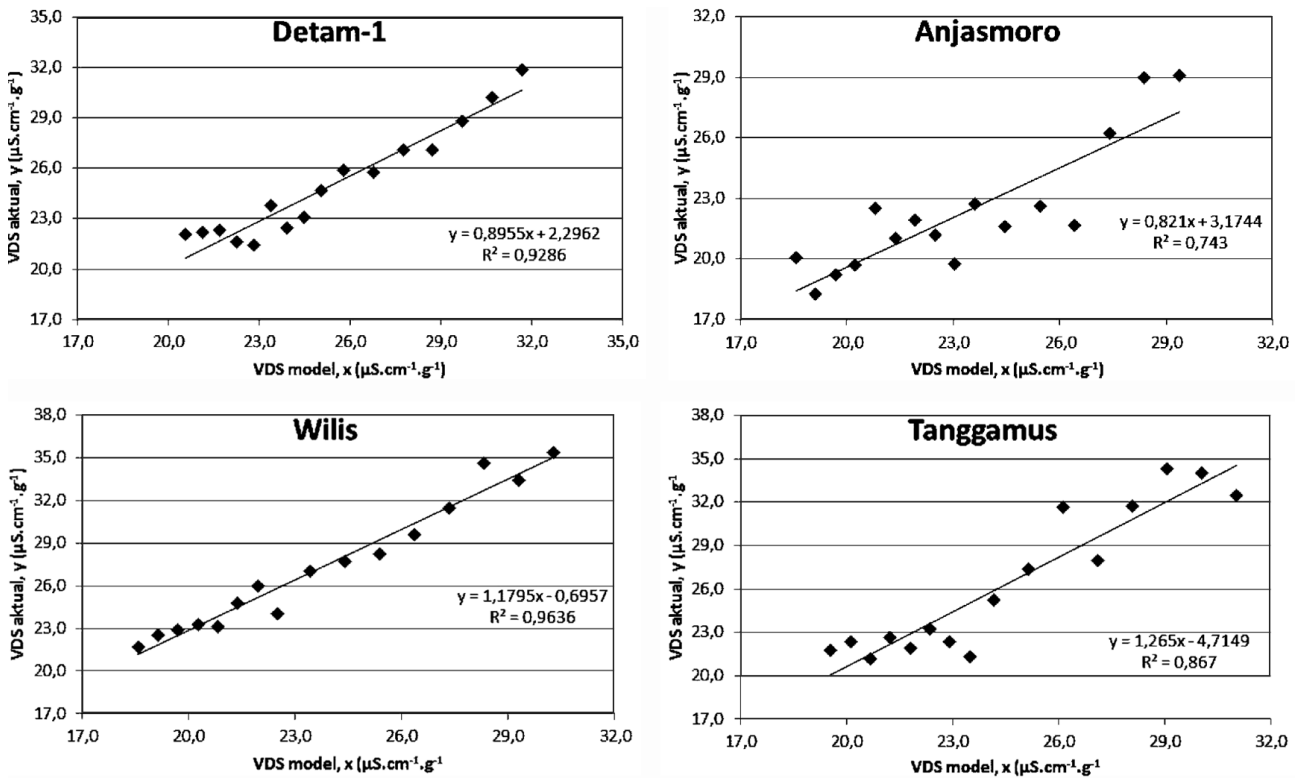
kurang baik untuk benih kedelai berukuran kecil dan sedang (Wilis dan Tanggamus).

Tabel 1. Nilai R² dan Root Mean Square Error (RMSE) model simulasi vigor daya simpan benih kedelai varietas Anjasmoro pada penyimpanan sistem terbuka. Laboratorium Ilmu Benih IPB, September 2012.

Jenis kemasan simpan	R ²	RMSE
Karung plastik	0,743	1,95
Plastik PP	0,733	0,70
Aluminium foil	0,727	0,56

Tabel 2. Nilai R² dan Root Mean Square Error (RMSE) model simulasi vigor daya simpan benih empat varietas kedelai yang disimpan menggunakan kemasan karung plastik pada sistem penyimpanan terbuka. Laboratorium Ilmu Benih IPB, September 2012.

Varietas	R ²	RMSE
Detam-1	0,929	0,98
Anjasmoro	0,743	1,95
Wilis	0,964	3,71
Tanggamus	0,867	2,68



Gambar 4. Koefisien determinasi model sistem dinamik simulasi vigor daya simpan benih kedelai pada sistem penyimpanan terbuka menggunakan karung plastik

Aplikasi Praktis Model Simulasi Vigor Daya Simpan Benih Kedelai

Model simulasi vigor daya simpan benih kedelai dapat digunakan untuk menduga daya simpan benih kedelai yang disimpan secara terbuka menggunakan kemasan karung plastik, plastik PP dan alumunium foil. Berdasarkan standar mutu benih sebar (Daya Kecambah 80,0%) kemasan yang dapat memperpanjang daya simpan benih kedelai adalah alumunium foil dan plastik PP.

Kondisi ruang simpan, jenis kemasan, dan nilai parameter kadar air keseimbangan benih kedelai merupakan masukan penting dalam simulasi vigor daya simpan benih. Dari tiga jenis masukan tersebut, yang paling urgen untuk dicermati adalah nilai parameter kadar air keseimbangan. Oleh karena itu simulasi vigor daya simpan benih kedelai masih perlu penyempurnaan dengan menggunakan parameter model keseimbangan kadar air benih yang terbaru. Lebih lanjut pengembangan database parameter kadar air keseimbangan benih kedelai untuk varietas unggul yang berkembang di Indonesia sangat berguna dalam mendukung penggunaan model simulasi vigor daya simpan benih kedelai.

Model dinamik selain memasukkan berbagai variabel yang berkaitan dengan vigor benih juga memasukkan unsur waktu, sehingga dapat digunakan untuk mensimulasi dengan baik vigor daya simpan benih kedelai selama periode simpan (dinamis). Oleh karena itu, model sistem dinamik lebih tepat digunakan untuk menduga vigor benih kedelai selama dalam penyimpanan dibandingkan model statis yang simulasinya ditekankan pada waktu tertentu saja.

KESIMPULAN DAN SARAN

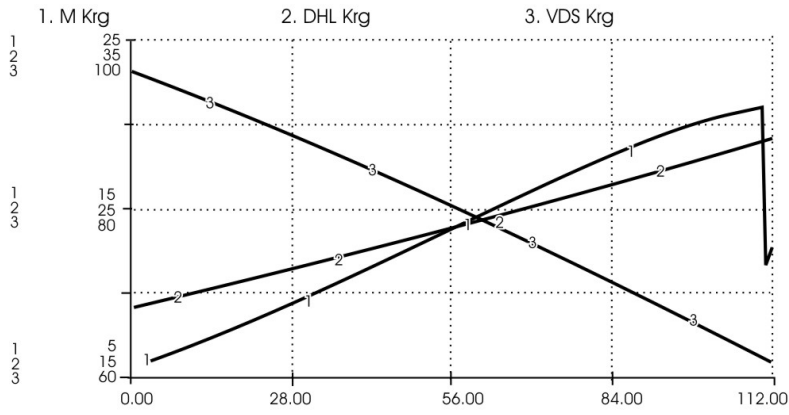
Model simulasi vigor daya simpan benih kedelai dapat digunakan untuk menduga daya simpan benih kedelai dengan tingkat koefisien determinasi (R^2) 0,72–0,93. Untuk menyempurnakan model simulasi vigor daya simpan benih kedelai diperlukan database kadar air keseimbangan benih kedelai.

DAFTAR PUSTAKA

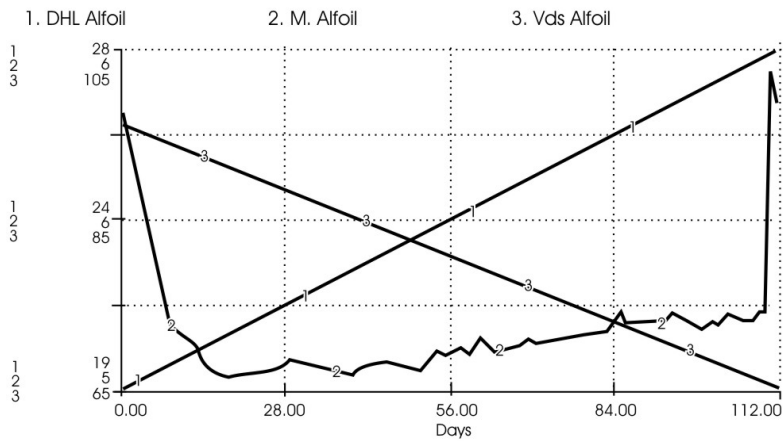
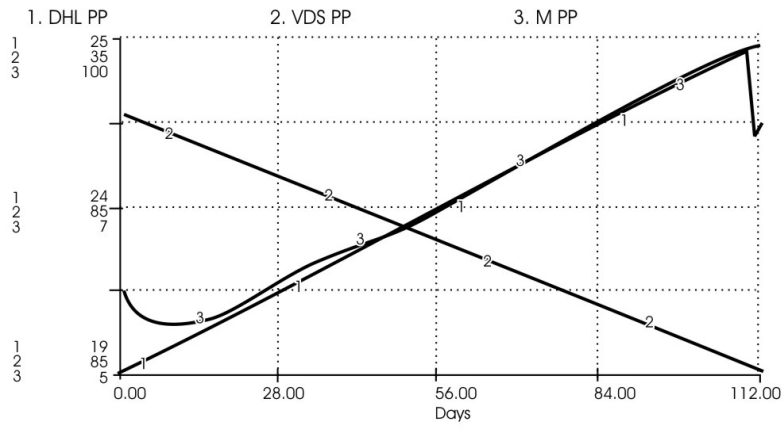
- Adie M.M., Krisnawati, A. 2007. Biologi Tanaman Kedelai. hlm 48–62 *dalam* Sumarno, Suyamto, A. Widjono, Hermanto, H. Kasim (Ed.). Kedelai, Teknik Produksi dan Pengembangan. Puslitbang Tanaman Pangan Badan Litbang Pertanian.
- Arpah, M. 2007. Penetapan Kadaluwarsa Pangan. Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Arulnandhy and Senanayake. 1984. Influence of initial seed moisture on deterioration of stored soybean seed. Univ. of Peradeniya Sri Lanka
- Badan Litbang Pertanian. 2005. Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kedelai. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Barlian, J. 1990. Pengolahan dan Fasilitas Penyimpanan Benih Kedelai di Indonesia. Bogor. Laboratorium Ilmu dan Teknologi Benih, Institut Pertanian Bogor.
- Bewley, J.D., Black, M. 1985. Seeds: Physiology of Development and Germination. New York. Plenum Press.
- Copeland and McDonald. 1995. Seed Science and Technology. Washington. Chapman and Hall. Thomson Publ.
- Ginting, E., I K. Tastra. 2007. Standar mutu biji kedelai. hlm 444–463 *Dalam* Sumarno, Suyamto, A. Widjono, Hermanto, H. Kasim (Ed.). Kedelai, Teknik Produksi dan Pengembangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan Badan Litbang Pertanian.
- Halloin, J.M. 1986. Microorganisms and seed deterioration. *In* McDonald M.B. dan Nelson C.J (Eds). Physiology of Seed Deterioration. Wisconsin. Crop Sci Soc. of Am., Inc.
- Handoko. 2005. Quantitative Modeling of System Dynamics for Natural Resources Management. Southeast Asian Regional Centre for Trop. Biology. Bogor.
- Harrington, J.F. 1972. Seed Storage and Longevity. *In* Kozlowski T.T. (Ed). Seed Biology. Vol III. New York. Acad. Press.
- Hasbianto, A. 2012. Pemodelan Penyimpanan Benih Kedelai pada Sistem Penyimpanan Terbuka. Tesis. Institut Pertanian Bogor.
- Henderson, S. M. and R.L. Perry. 1976. Agricultural Process Engineering. 3rd. Edition. The AVI Publ. Co. Inc. Westport Connecticut.
- Hong, T.D., and Ellis R.H. 1996. IPGRI Technical Bull. No. 1. Depart. of Agric. The Univ. of Reading. UK.
- Ilyas, S. 1986. Pengaruh Faktor Induced dan Enforced terhadap Vigor Benih Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dan Hubungannya dengan Produksi per Hektar [tesis]. Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Justice, O.L., Bass L.N. 1994. Prinsip dan Praktek Penyimpanan Benih. Rennie Roesli, penerjemah. Jakarta. PT Raja Grafindo Persada. Terjemahan dari: Principles and Practices of Seed Storage.
- Kartika, T. 2013. Dasar Ilmu dan Teknologi Benih. IPB Press.

- Krzyzanowski, F.C., Neto J.B.F., Mandarino J.M.G., and Kaster, M. 2008. Evaluation of lignin content of soybean seed coat stored in a controlled environment. *Revista Brasileira de Sementes*, 30: 220–223.
- Marsh, K., Bugusu, B. 2007. Food packaging—roles, materials and environmental issues. *J. of Food Sci.* 72:39–55.
- Marwanto. 2004. Soybean Seed coat Charateristic and Its Quality Losses During Incubator Aging and Storage. *J. Ilmu-ilmu Pertanian Indonesia*. 6(2): 2004.
- Osborn, G.S., G.M. White, A.H. Sulaiman, and L.R. Walton. 1989. Predicting equilibrium moisture properties of soybean. *Transaction of the ASAE* 32(6): 2109–2113.
- Qadir, A., Suwarno, F.C., Wirawan, B., Agustiansyah, Hasbianto, A. 2013. Pengembangan Teknologi Pendugaan Daya Simpan Benih Kedelai Menggunakan Model Dinamik. Laporan Akhir Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- Roberts, E.H. 1972. Storage environment and the control of viability. *Dalam: Roberts, E.H. (Ed.). Viability of Seed*. London. Chapman and Hall Ltd.
- Sadjad, S. 1980. Panduan Mutu Benih Tanaman Kehutanan di Indonesia. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Sadjad, S. 1994. Kuantifikasi Metabolisme Benih. Jakarta. PT Gramedia Widiasarana Indonesia.
- Sadjad, S., Murniati, E., dan Ilyas, S. 1999. Parameter Pengujian Vigor Benih dari Komparatif ke Simulatif. Jakarta. PT Gramedia Widiasarana Indonesia.
- Saenong, S. 1982. Pengaruh vigor benih terhadap vigor tanaman di lapang dan daya simpan benih jagung [tesis]. Bogor. Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Simatupang, P. 2012. Meningkatkan daya saing ubikayu, kedelai, dan kacang tanah untuk meningkatkan pendapatan petani, ketahanan pangan, nilai tambah, dan penerimaan devisa. Pros. Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Sucahyono, D. 2013. Inigorasi benih kedelai. *Bul Palawija*, 25-2013 : 18–25. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian.
- Sudikno, T.S. 1977. Teknologi Benih. Yayasan Pembinaan Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta. 101 hlm.
- Suhartanto, M.R. 2013. Dasar Ilmu dan Teknologi Benih. IPB Press.
- Tatipata, A. 2008. Pengaruh kadar air awal, kemasan dan lama simpan terhadap protein membran dalam mitokondria benih kedelai. *Bul. Agron.* 36:8–16.
- Tatipata, A., Yudono, P., Purwantoro, A., Mangoen-didjojo, W. 2004. Kajian aspek fisiologi dan biokimia deteriorasi benih kedelai dalam penyimpanan. *Ilmu Pertanian* 11: 76–87.
- Vieira, R.D., TeKrony D.M., Egli D.B., Bruening W.P., Panobianco, M. 2008. Temperature during soybean seed storage and the amount of electrolytes of soaked seed solutions. *Sci. Agric.* 65:496–501.
- Wang, J., Jiang, P., Li, D., Ma, Q., Tai, S.J., Zuo Z.P., Dong, L.H., Sun, Q.Q. 2010. Moisture variation and modeling of cotton and soybean seeds under different storage conditions. *Sciencedirect. Acta Agronomica Sinica* 36:1161–1168.
- Walters, C. 1998. Understanding the mechanisms and kinetics of seed ageing. *Seed Sci. Res.* 8:223–244.
- Wirawan, B. dan S. Wahyuni. 2002. Memproduksi Benih Bersertifikat. Penebar Swadaya. 120 hlm.
- Yaja, J., Pawelzick, E., Vearasilpa, S. 2005. Prediction of soybean seed quality in relation to seed moisture content and storage temperature. *Conf. on Internat. Agric. Res. for Dev. Stuttgart-Hohenheim*, October 11–13, 2005.
- Zahrok, S. 2007. Pengaruh kadar air awal dan suhu penyimpanan terhadap mutu fisiologis Benih Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) [skripsi]. Malang. Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Univ. Islam Negeri Malang.

Lampiran 1. Program komputer model simulasi vigor daya simpan benih kedelai



Simulasi komputer kadar air (M), DHL, dan VDS benih kedelai



Lampiran 2. Keterangan simbol model sistem dinamik pendugaan daya simpan benih kedelai (soyVios model).

Simbol	Uraian	Satuan
Po	tekanan uap air jenuh	mmHg
Pr Kemasan	permeabilitas kemasan	g/hari/m ² /mmHg
A Kemasan	luas kemasan	m ²
RH out	RH luar kemasan	%
RH in	RH dalam kemasan	%
nt	jumlah uap air terserap benih	g/hari
A	jumlah uap air udara	g
Me	Kadar air keseimbangan	%
C dan n	konstanta persamaan Henderson	
Ki	viabilitas awal	%
Mo	KA awal	%
A benih	luas permukaan benih	m ²
r-a, r-b, r2	jari-jari benih	m
k	koefisien Difusitas benih	
Dv	difusitas benih	m ² /det
Ekt	eksponensial k dan p	
p	periode simpan	hari
DHL	daya hantar listrik	μS.cm ⁻¹ .g ⁻¹
DS	daya simpan benih	hari
V _{DS}	vigor daya simpan	%