

PERUBAHAN BIOLOGIS DAN FISIOLOGIS SEBAGAI INDIKATOR MASAK BENIH KAKAO HIBRIDA

BAHARUDIN¹⁾, M.R. SUHARTANTO²⁾, S. ILYAS²⁾, dan A. PURWANTARA³⁾

¹⁾ **Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Tenggara**
Jl. Prof. Muh. Yamin No. 89 Kendari 93114
e-mail : bptp-sultra@litbang.deptan.go.id

²⁾ **Fakultas Pertanian Pascasarjana Agronomi dan Hortikultura IPB**
Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680
e-mail : agrohort.ipb.ac.id

³⁾ **Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor**
Jl. Taman Kencana No. 1, Bogor 16151
e-mail : briecc@indo.net.id

(Diterima Tgl. 20 - 10 - 2010 - Disetujui Tgl. 7 - 6 - 2011)

ABSTRAK

Program pengembangan dan rehabilitasi tanaman kakao membutuhkan benih bermutu. Mutu benih antara lain ditentukan oleh saat panen yang tepat, terutama berhubungan dengan masak fisiologis. Beberapa indikator penting yang berkaitan dengan masak fisiologis benih adalah karakteristik biologis dan fisiologis. Penelitian telah dilaksanakan di Kebun Induk Benih Pusat Penelitian Kopi dan Kakao (Puslitkoka) Jember, Laboratorium Fisika dan Laboratorium Ilmu dan Teknologi Benih IPB, serta Rumah Kaca Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor pada bulan Februari-September 2008. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mempelajari perubahan biologis dan fisiologis selama perkembangan benih kakao hibrida, (2) mengetahui hubungan antar berbagai karakter biologis dan fisiologis benih yang mencerminkan mutu benih, dan (3) menentukan saat panen yang tepat benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6. Benih yang digunakan berasal dari hasil persilangan buatan antara kakao TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6. Umur panen benih yang digunakan dalam penelitian adalah 120, 135, 150, 165, dan 180 hari yang dihitung saat setelah antesis, dan setiap pengamatan diulang 4 kali. Analisis data disajikan dalam bentuk grafik dengan data primer ditambah standar deviasi dalam program Excel dan untuk mengetahui hubungan dari masing-masing karakter mutu benih dilakukan "analysis path" menggunakan SAS dari Windows v 9.1. Hasil penelitian menunjukkan dua fase perkembangan benih. Fase perkembangan hingga masak fisiologis (fase 1) dan fase setelah masak fisiologis (fase 2) kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6. Masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 tercapai pada saat 150 HSA dan ICS 60 x Sca 6 pada 165 HSA. Daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , T_{50} , bobot basah dan bobot kering benih, karotenoid dan antosianin benih dan buah, jumlah daun, dan tinggi bibit dari benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6 mencapai maksimum pada saat masak fisiologis dan menurun pada fase kedua. Selama periode perkembangan benih terjadi penurunan total klorofil benih dan buah, sedangkan warna buah kuning mengalami peningkatan. Karakter yang berhubungan langsung dengan mutu benih pada saat masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6 adalah warna buah kuning, indeks vigor, total klorofil benih dan buah, karotenoid dan antosianin benih, T_{50} , tinggi bibit, K_{CT-R} , dan bobot kering benih.

Kata kunci: *Theobroma cacao*, biologi benih, fisiologi benih, karakteristik benih, mutu benih

ABSTRACT

Biological and Physiological Changes as Indicator of Maturity of Hybrid Cacao Seed

The development and rehabilitation programs of cacao need high quality seeds. The high quality of cacao seeds is influenced by seeds physiological maturity and harvesting time. Several important indicators related to the seed physiological maturity are biological and physiological characters. The research objectives were: (1) to study biological and physiological changes during of seed development, (2) to study on the correlation of various characteristics related with seeds physiology and quality, (3) to determine the most appropriate harvesting time for hybrid cacao seed of TSH 858 x Sca 6 and ICS 60 x Sca 6. The research was conducted at Coffee and Cacao Research Institute of Indonesia (Puslitkoka) in Jember, IPB Biophysics and Seeds and Technology Laboratory and Biotechnology Research Institute for Estate Crops Indonesia glass house in Bogor from February to September 2008. The seeds were originated from hand pollination of TSH 858 vs Sca 6 and ICS 60 vs Sca 6 hybrids from Puslitkoka Jember. The seeds for this research were harvested on: 120, 135, 150, 165, and 180 days after anthesis (DAA); with four replications each. Data were analyzed and presented as graphs, standard deviation in excel; while the relationship of each character of seeds quality was determined using path analysis by SAS for Windows v. 9.1. The results showed that the seed physiological changed on two phases during its development. The first phase started from seeds development up to physiological maturity for TSH 858 x Sca 6 and as well ICS 60 x Sca 6 hybrids, and second phases started after physiological maturity. The physiological maturity of each seeds is 150 DAA for TSH 858 x Sca 6 and 165 DAA for ICS 60 x Sca 6 hybrids. Seed germination percentage, vigor index, germination rate (K_{CT-R} and T_{50}), wet and dry weight of seed, seeds and fruits carotenoid content, seed and fruit anthocyanin content, number of leaves, and height of seedling reached maximum when seed achieved physiological maturity and decreased afterward. During seed development, there was decreasing of seeds and fruits chlorophyll content and increased for the yellow color of fruit. The characters which showed direct correlation with seeds quality during seed development of TSH 858 x Sca 6 and ICS 60 x Sca 6 hybrids are: yellow color of fruit, vigor index, chlorophyll content for seeds and fruit, seed carotenoid and anthocyanin content, germination rate (T_{50} , K_{CT-R}), seedling height and seed dry weight.

Key words: *Theobroma cacao*, seed biological, seed physiological, seed characteristic, seed quality

PENDAHULUAN

Kakao memiliki nilai ekonomis cukup tinggi, karena mempunyai peluang pasar, baik nasional maupun internasional. Produksi kakao Indonesia pada tahun 2009 menempati urutan ketiga dunia (sebesar 540 ribu ton) setelah Ghana (680 ribu ton) dan Pantai Gading (1,22 juta ton) (INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION, 2009). Luas areal tanaman kakao Indonesia mencapai 1,5 juta ha (DITJEN PERKEBUNAN, 2010). Pengembangan pertanaman kakao maupun rehabilitasi tanaman yang tua sangat membutuhkan benih bermutu, terutama yang berasal dari varietas unggul. Bagi tanaman tahunan, benih bermutu merupakan faktor awal penentu keberhasilan usaha. Benih bermutu dapat diperoleh dengan berbagai indikator diantaranya berdasarkan karakteristik biologis dan fisiologis benih.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa vigor benih tertinggi dicapai pada saat masak fisiologis dan umumnya pada saat berat kering benih mencapai maksimum (MEENA *et al.*, 1999). Pada tanaman tomat misalnya, selain indikator berat kering maksimum, kandungan klorofil pada benih juga dapat digunakan sebagai penciri masak fisiologis benih atau secara tidak langsung merupakan penciri mutu benih (SUHARTANTO, 2002). Karotenoid merupakan indikator masak fisiologis lain pada benih kedelai (MONMA *et al.*, 1994) dan benih jagung (PRASETYANINGSIH, 2006).

Klorofil sebagai pigmen pembawa warna hijau daun yang terdapat dalam kloroplas berperan penting dalam proses fotosintesis, sedangkan karotenoid dan antosianin yang berfungsi sebagai antioksidan alami juga ditemukan dalam benih dan buah. Karotenoid berfungsi sebagai agens photoprotektif dan photo-oksidasi yang berguna untuk melindungi embrio benih dari pengaruh radiasi (COGDELL dan RAU *dalam* SUHARTANTO, 2002). Menurut CURIR *et al.* (2006), antosianin sebagai antioksidan (dari komponen flavonoid) berfungsi melindungi dari aktivitas patogen. Keberadaan kandungan klorofil, karotenoid, dan antosianin pada benih dan buah kakao masih belum diteliti padahal ketiganya berhubungan dengan mutu benih.

Perkembangan buah kakao jenis UAH pada umur 4 bulan setelah berbunga mempunyai daya kecambah benih hanya sebesar 64%. Masak fisiologis benih pada umur 5 bulan setelah berbunga dan viabilitas tertinggi dicapai apabila buah yang dipanen telah masak fisiologis, dalam hal ini dicirikan oleh perubahan warna hijau menjadi kuning yang sudah mencapai 50%. Pada umur tersebut tingkat perkecambahan benih mencapai 100% (WIRAWAN, 1992).

Selama perkembangan benih, kemasakan benih maksimal dicapai pada kisaran waktu sebelum akhir masak fisiologis. Menurut BASHARUDIN (1994), vigor benih seperti pertumbuhan tinggi tajuk, jumlah daun, dan panjang akar kakao jenis UAH mencapai maksimum bila pemanenan buah dilakukan pada umur 5 bulan setelah berbunga.

Selanjutnya dijelaskan oleh SUHARTANTO (2002), perkecambahan benih tomat dan persentase bibit normal mencapai maksimum apabila buah yang dipanen telah mencapai umur 51-54 hari setelah berbunga saat kandungan klorofil mencapai minimum.

Panen benih kakao perlu dilakukan secara berhati-hati, karena pemanenan lebih awal atau melewati masak fisiologis dapat menurunkan mutu benih. Penurunan mutu akan lebih cepat karena benih kakao bersifat rekalsitran. Untuk itu, usaha memperoleh dan mempertahankan mutu benih kakao yang vigor dalam kegiatan budidaya untuk perluasan areal maupun rehabilitasi tanaman tua atau rusak menjadi sangat penting dan strategis.

Perubahan biologis dalam penelitian ini adalah kandungan total klorofil, karotenoid, dan antosianin benih dan buah, ukuran benih, bobot basah dan bobot kering benih, dan warna buah. Perubahan fisiologis adalah daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , T_{50} , laju pertumbuhan kecambah, jumlah daun, tinggi bibit, jumlah akar, dan panjang akar. Penelitian bertujuan untuk: (1) mempelajari perubahan beberapa karakteristik biologi dan fisiologi selama perkembangan benih kakao hibrida, (2) mengetahui hubungan antar berbagai karakteristik yang diamati dengan karakter fisiologis benih yang dapat mencerminkan mutu benih, dan (3) menentukan saat panen yang tepat benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini terdiri atas tiga tahap yaitu penelitian di lapangan, di laboratorium, dan di rumah kaca. Penelitian di lapangan untuk menentukan umur panen benih dan buah kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6 dilakukan di Kebun Induk Benih, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, di Jember. Penelitian di laboratorium untuk mengamati karakter biologi pada berbagai tingkat umur panen benih dan buah dilakukan di Laboratorium Fisika dan Laboratorium Benih IPB. Penelitian di rumah kaca untuk mengamati karakter fisiologis benih di Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia Bogor. Pelaksanaan dimulai pada bulan Februari sampai September 2008.

Umur panen benih dan buah yang digunakan dalam penelitian ini adalah 120, 135, 150, 165, dan 180 hari setelah anthesis (HSA). Perhitungan umur panen benih tersebut dimulai pada saat terjadi persilangan buatan antara tetua induk kakao TSH 858 x Sca 6 dengan ICS 60 x Sca 6. Karakter biologi benih dan buah, yang diamati pada setiap tingkat umur panen adalah kandungan total klorofil, karotenoid dan antosianin secara non destruktif dengan menggunakan alat *spectrophotometer* tipe *Portable UV Duallex* (UV-A-PAM) USB2000 VIS NIR. Berdasarkan penelitian pendahuluan diketahui bahwa analisis destruktif dan non destruktif memiliki nilai korelasi yang kuat. Pengamatan

dilakukan dengan mengukur nilai absorpsi pada panjang gelombang 510; 550; 625; 646,6; 663,6; 700; dan 740 nm cm^{-2} . Metode analisis terhadap kandungan total klorofil (PORRA *et al.*, 1989), karotenoid (GITELSON *et al.*, 2002), dan antosianin (AGATI *et al.*, 2005) dilakukan secara non destruktif dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Total klorofil (nmol cm}^{-2}\text{)} &= (8,29 * A_{663,6}) + (19,54 * A_{646,6}) \\ \text{Karotenoid (nmol cm}^{-2}\text{)} &= ((A_{510})^{-1} - (90)^{-1}) - 1,92((A_{700})^{-1} - (0,75)^{-1}) \\ &\quad \text{Chl}^{740} (A_{625}) \\ \text{Log } \frac{\text{Chl}^{740} (A_{625})}{\text{Chl}^{740} (A_{550})} &= -0,475 + 0,677 * (\text{Antosianin})^{0,149} \\ \text{Antosianin (nmol cm}^{-2}\text{)} &= \sqrt[0,149]{1,477 \log \frac{A_{625}}{A_{550}} + 0,702} \end{aligned}$$

Setiap tahapan umur panen juga dilakukan pengamatan terhadap karakter fisiologis dan biologis benih. Karakter-karakter yang diamati terdiri atas: (1) fisiologis benih : daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , T_{50} , laju pertumbuhan kecambah, jumlah daun, tinggi bibit, panjang akar, dan jumlah akar, (2) biologis benih: ukuran buah, ukuran benih, bobot basah benih dan bobot kering benih, persentase warna buah merah, hijau, dan kuning.

Benih dari masing-masing tingkatan umur panen yang ditanam untuk diamati karakter fisiologis dan agromomis berjumlah 25 butir untuk setiap unit satuan percobaan, sehingga keseluruhannya membutuhkan 1.200 butir benih. Sebelum ditanam, benih terlebih dahulu dikering-anginkan menggunakan kipas pada suhu ruang selama lebih kurang 90 menit hingga kadar air mencapai 50%. Benih kemudian ditanam dan dilakukan pengamatan sebagai berikut: indeks vigor diamati pada hari ke 14 setelah tanam (HST). Viabilitas dan vigor benih maupun bibit diamati setiap hari dan berlangsung hingga 21 HST. Pengamatan jumlah daun, tinggi bibit, panjang akar dan jumlah akar digunakan lima tanaman contoh pada ulangan yang diambil secara acak.

Percobaan dari berbagai perubahan karakter yang diamati, disajikan dalam bentuk grafik dengan data primer ditambah standar deviasi dalam program *Excel*. Pada berbagai karakter yang diamati dilakukan analisis keeratan hubungan (korelasi), pengaruh langsung dan tidak langsung dengan *path analysis* menggunakan *SAS for Windows v 9.1*. Untuk kemudahan interpretasi, data ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel korelasi.

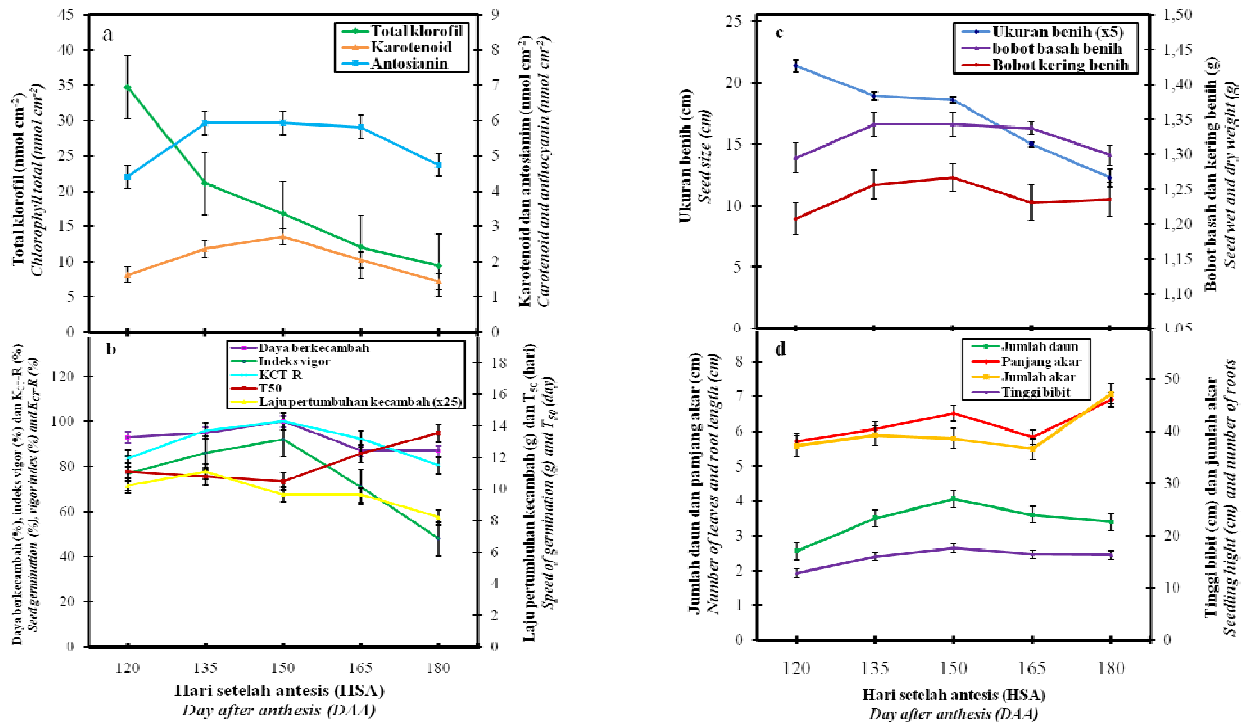
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan Benih dan Buah Kakao Hibrida TSH 858 x Sca 6

Perubahan karakteristik biologis dan fisiologis benih selama perkembangan benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 disajikan dalam Gambar 1a-1d. Berdasarkan Gambar 1a terlihat bahwa kandungan total klorofil benih menunjukkan penurunan sampai dengan 180 HSA, sedangkan karotenoid benih mengalami peningkatan hingga 150 HSA, kemudian menurun selama perkembangan benih. Kandungan antosianin benih mencapai maksimum saat 135 HSA dan tidak berubah setelah itu. Gambar 1b menunjukkan bahwa daya kecambah, indeks vigor, dan kecepatan tumbuh relatif meningkat mulai 120 HSA dan mencapai maksimum pada 150 HSA. Pada umur 180 HSA terjadi penurunan daya kecambah, indeks vigor, dan kecepatan tumbuh relatif. Saat periode 135-150 HSA, benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 memiliki kecepatan perkecambahan (T_{50} menurun) yang lebih baik, sedangkan periode 150-180 HSA kecepatan perkecambahan benih lebih lambat (T_{50} meningkat). Laju pertumbuhan kecambah relatif stabil pada periode 120-180 HSA.

Berdasarkan perubahan biologi yang diperoleh diduga kuat bahwa masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 terjadi sekitar 150 HSA. Pada saat masak fisiologis tersebut kandungan antosianin dan karotenoid benih mencapai maksimum, sedangkan kandungan klorofil masih menurun. Dugaan ini diperkuat data pada Gambar 1c yang menunjukkan bahwa bobot kering dan bobot basah benih mencapai maksimum saat 135-150 HSA. Sebagian besar penelitian menyatakan bahwa masak fisiologis benih tercapai saat bobot kering benih mencapai maksimum, misalnya pada benih *tall fescue* (HILL *et al.*, 2004). Penurunan daya kecambah, indeks vigor dan K_{CT-R} , serta peningkatan T_{50} pada 180 HSA memberikan informasi bahwa keterlambatan panen benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 yang melewati masak fisiologis akan menurunkan mutu benih. Pada umur 180 HSA sebagian benih telah berkecambah di dalam buah.

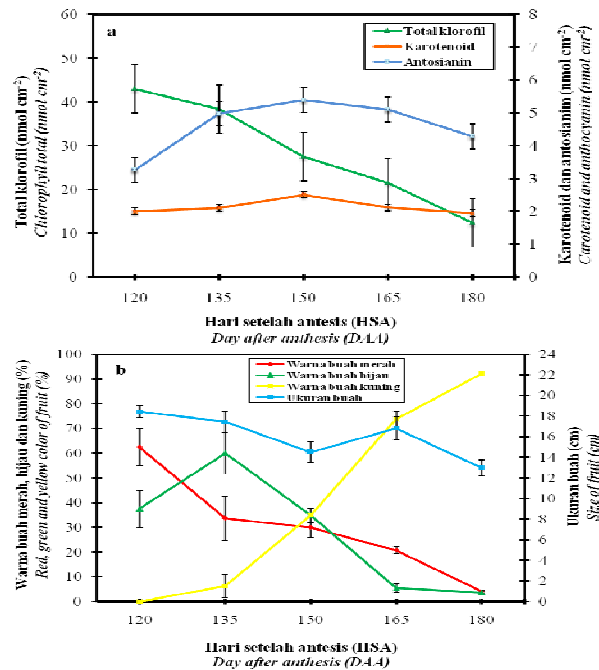
Ukuran benih menunjukkan penurunan (Gambar 1c). Penurunan ukuran benih diduga berhubungan dengan degradasi klorofil dan penurunan kadar air selama perkembangan benih. Selama perkembangan benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 (120-180 HSA) terjadi penurunan kadar



Gambar 1. Perubahan karakteristik biologi benih (a dan c) dan fisiologis benih (b dan d) pada berbagai tingkatan umur panen benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6
 Figure 1. The changes in seed biological (a and c) and physiological (b and d) characteristics of some seed harvest time levels from hybrid cacao TSH 858 x Sca 6

air dari 60% ke 43%. Benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 yang dipanen saat masak fisiologis 150 HSA memiliki jumlah daun dan tinggi bibit tertinggi, namun panjang akar dan jumlah akar tidak menunjukkan perbedaan sampai benih dipanen (160 HSA), bahkan pada 180 HSA terjadi peningkatan (Gambar 1d). Pada umur 180 HSA terjadi peningkatan panjang akar dan jumlah akar, diduga pada umur tersebut sebagian benih telah berkecambah di dalam buah dan telah muncul radikula sebagai calon akar primer dan diikuti dengan akar-akar sekunder. Selain itu pertumbuhan bibit juga telah dipengaruhi oleh faktor lingkungan dengan tidak adanya keseimbangan antara pertumbuhan akar dan tajuk bibit, sehingga pertumbuhan menjadi lambat dan kerdil.

Perubahan kandungan klorofil, antosianin, dan karotenoid selama perkembangan buah nampak serupa dengan perkembangan benih (Gambar 2a). Saat masak fisiologis benih (150 HSA) terjadi perubahan warna buah kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dengan penurunan warna merah 30% dan hijau 35% dan peningkatan warna buah kuning 35% (Gambar 2b). Ukuran buah dalam penelitian ini tidak terkait dengan masak fisiologis benih. Penurunan warna buah merah dan hijau serta peningkatan warna buah kuning berhubungan dengan degradasi klorofil dan penurunan kadar air sebagai akibat dari kerusakan vakuola buah.



Gambar 2. Perubahan karakteristik biologi buah (a dan b) pada berbagai tingkatan umur panen buah kakao hibrida TSH 858 x Sca 6
 Figure 2. The changes in fruit biological characteristics (a and b) of some fruit harvest time levels from hybrid cacao TSH 858 x Sca 6

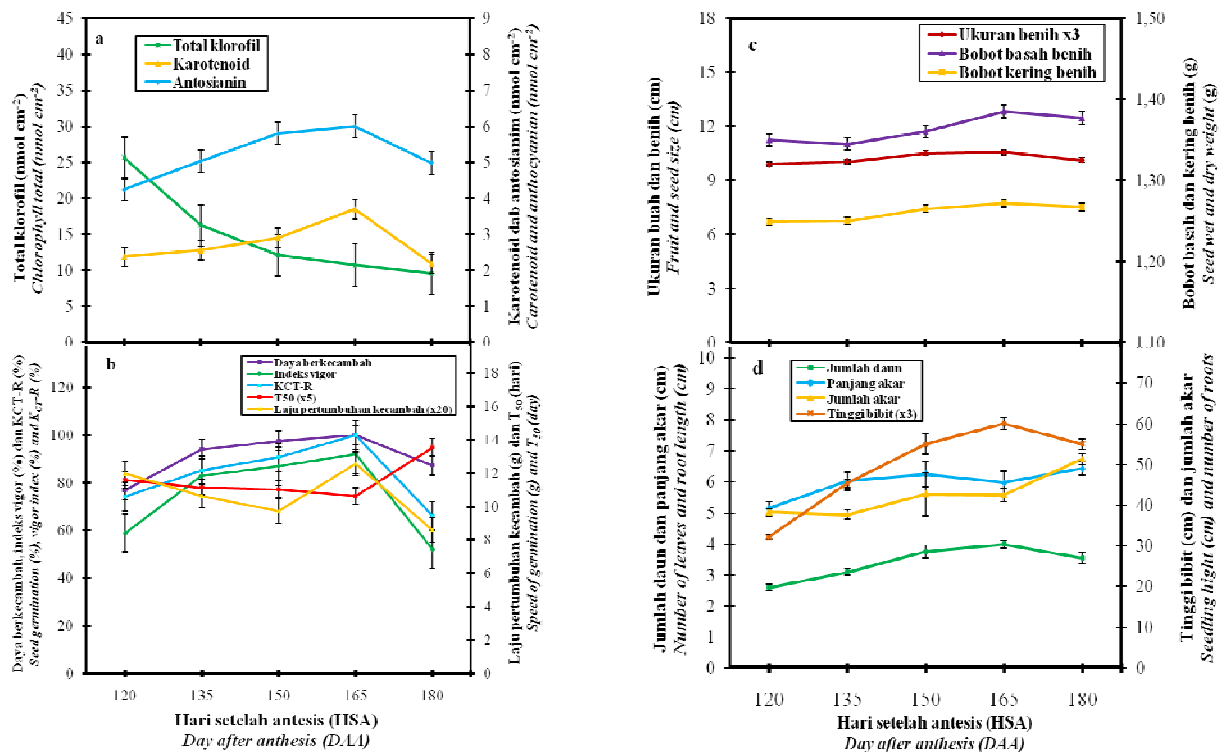
Perkembangan Benih dan Buah Kakao Hibrida ICS 60 x Sca 6

Perubahan karakteristik biologis benih dan fisiologis benih selama perkembangan benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6 disajikan dalam Gambar 3a-3d. Berdasarkan Gambar 3a terlihat bahwa kandungan total klorofil benih menunjukkan penurunan sampai dengan 150 HSA dan cenderung tidak berubah setelah itu, sedangkan karotenoid dan antosianin benih terjadi peningkatan hingga mencapai maksimum pada 165 HSA, kemudian menurun pada 180 HSA. Gambar 3b menunjukkan bahwa daya kecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh relatif meningkat mulai dari 120 HSA dan mencapai maksimum pada 165 HSA. Penurunan daya kecambah, indeks vigor, dan kecepatan tumbuh relatif terjadi hingga 180 HSA. Pada periode 120-165 HSA kecepatan perkecambahan lebih cepat (T_{50} menurun) dan kecepatan perkecambahan menjadi lambat (T_{50} meningkat) selama perkembangan benih (Gambar 3b). Laju pertumbuhan kecambah tidak menunjukkan data fluktuatif (tidak mendukung). Berdasarkan perubahan fisiologis yang diperoleh diduga kuat bahwa masak fisiologis benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6 pada periode 165 HSA, umumnya karena pada saat tersebut daya kecambah, indeks vigor, dan kecepatan tumbuh relatif mencapai maksimum.

Gambar 3c menunjukkan bahwa bobot kering dan bobot basah benih mencapai maksimum pada saat 165 HSA, sedangkan ukuran benih relatif tetap selama 120-180 HSA. Umumnya masak fisiologis benih diperoleh pada saat bobot kering benih mencapai maksimum seperti pada okra (PUTEH *et al.*, 2008) dan kacang hijau (COELHO dan BENEDITO, 2008).

Masak fisiologis benih jagung dicapai pada saat kandungan karotenoid mencapai maksimum (PRASETYA-NINGSIH, 2006). Penurunan daya kecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh relatif dan peningkatan T_{50} pada periode 180 HSA menunjukkan mutu benih kakao hibrida ICS 60x Sca 6 telah menurun. Kondisi ini disebabkan sebagian benih kakao telah berkecambah di dalam buah. Hal ini sangat dimungkinkan, karena benih kakao tergolong rekalsitran yang tidak memiliki masa dormansi.

Masak fisiologis benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6 tercapai saat 165 HSA dengan memiliki jumlah daun dan tinggi bibit tertinggi, kemudian menurun selama perkembangan benih. Sedangkan panjang akar dan jumlah akar cenderung meningkat sampai dengan 180 HSA (Gambar 3d). Peningkatan panjang akar dan jumlah akar seiring dengan peningkatan masak fisiologis benih kakao hingga 180 HSA yang disebabkan oleh sebagian benih telah berkecambah di dalam buah, sehingga memiliki pertumbuhan dan perkembangan akar yang lebih cepat.



Gambar 3. Perubahan karakteristik biologis (a dan c) dan fisiologis benih (b dan d) pada berbagai tingkatan umur panen benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6

Figure 3. The changes in seed biological (a and c) and seed physiological (b and d) characteristics of some seed harvest time level from hybrid cacao ICS 60 x Sca 6

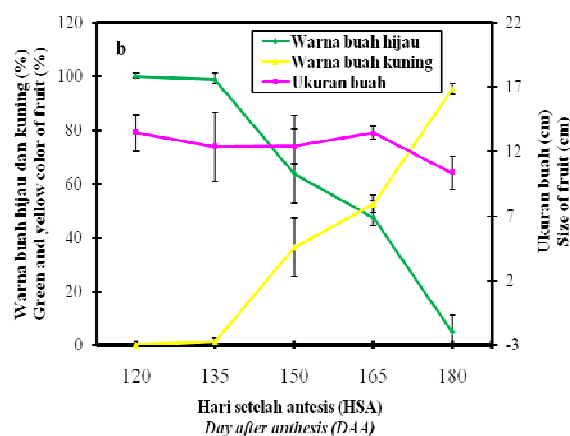
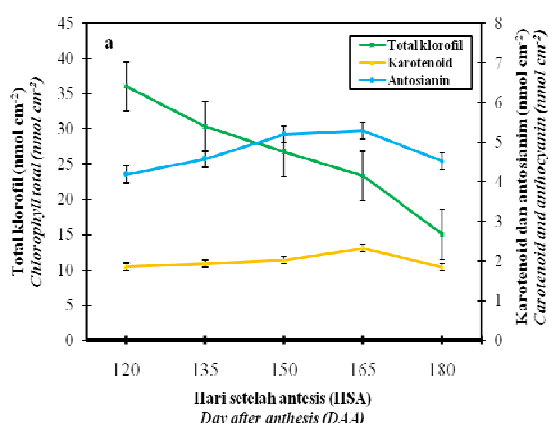
Gambar 4a menunjukkan bahwa perkembangan klorofil, antosianin, dan karotenoid buah sama dengan perkembangan pada benih. Pada periode 165 HSA terjadi perubahan warna buah kakao yaitu penurunan warna hijau menjadi 48% dan peningkatan warna kuning 52% (Gambar 4b). Ukuran buah relatif tidak berubah dan secara fisiologis sudah masak. Menurut BASHARUDIN (1994) bahwa fase perkembangan buah kakao jenis UAH mencapai masak fisiologis pada saat terjadi penurunan warna buah hijau sebesar 40% dan peningkatan warna buah kuning 60%. Kondisi tersebut dicapai apabila buah dipanen pada umur 5 bulan setelah berbunga. Pemanenan benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6 yang terlalu awal (120 HSA) atau melewati masak fisiologis (180 HSA) mengakibatkan mutu benih telah mengalami penurunan dan bahkan sebagian benih telah berkecambah di dalam buah.

Keeratan Hubungan antara Periode Umur Panen Benih dengan Karakteristik Mutu Benih Kakao Hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6

Hasil analisis korelasi antara beberapa periode umur panen benih kakao hibrida dengan berbagai karakter yang diamati menunjukkan pengaruh nyata sampai sangat nyata (Tabel 1). Tabel 1 menunjukkan bahwa perkembangan benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 mulai dari perkembangan benih sampai dengan masak fisiologis (120-150 HSA), karakter total klorofil benih dan buah, ukuran benih, T_{50} , warna buah merah, dan ukuran buah berkorelasi negatif dengan tingkat kemasakan benih. Hal ini berarti semakin mendekati masak fisiologis benih, karakter-karakter tersebut semakin menurun. Karakter-karakter yang berkorelasi

positif selama periode ini adalah karotenoid dan antosianin benih dan buah, bobot kering benih, daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , warna buah kuning, jumlah daun, dan tinggi bibit. Artinya semakin mendekati masak fisiologis benih, karakter-karakter tersebut semakin meningkat. Pada periode setelah masak fisiologis benih (150-180 HSA) nampak terjadi penurunan total klorofil, karotenoid dan antosianin benih dan buah, bobot basah dan bobot kering benih, daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , LPK, jumlah daun, tinggi bibit, warna buah merah dan hijau. Karakter yang berkorelasi positif yaitu T_{50} dan warna buah kuning. Selama periode ini, warna buah kuning semakin menguning dan kecepatan perkecambahan benih semakin lambat (T_{50} meningkat).

Selama perkembangan sampai dengan masak fisiologis benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6 (120-165 HSA), karakter yang berkorelasi negatif adalah total klorofil benih dan buah, T_{50} , laju pertumbuhan kecambah, dan warna buah hijau (Tabel 1). Pada periode yang sama terjadi peningkatan karotenoid dan antosianin benih dan buah, ukuran benih, bobot basah dan bobot kering benih, daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , jumlah daun, tinggi bibit, panjang akar, dan jumlah akar. Setelah fase masak fisiologis benih (165-180 HSA) terjadi penurunan total klorofil, karotenoid dan antosianin benih dan buah, ukuran benih, bobot basah dan bobot kering benih, daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , LPK, jumlah daun, tinggi bibit, warna buah hijau dan ukuran buah. Pada fase yang sama T_{50} , panjang akar, jumlah akar, dan warna buah kuning menunjukkan peningkatan. Artinya pada T_{50} semakin meningkat maka kecepatan perkecambahan benih semakin lambat dan warna buah kuning semakin meningkat.



Gambar 4. Perubahan karakteristik biologis buah (a dan b) pada berbagai tingkatan umur panen benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6
 Figure 4. The changes in fruit biological characteristics (a and b) of some seed harvest time levels of hybrid cacao ICS 60 x Sca 6

Tabel 1. Korelasi antara umur panen benih dan berbagai karakteristik mutu benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6
 Table 1. The correlation between seed harvest time and some characters of seeds quality of hybrid cacao TSH 858 x Sca 6 and ICS 60 x Sca 6

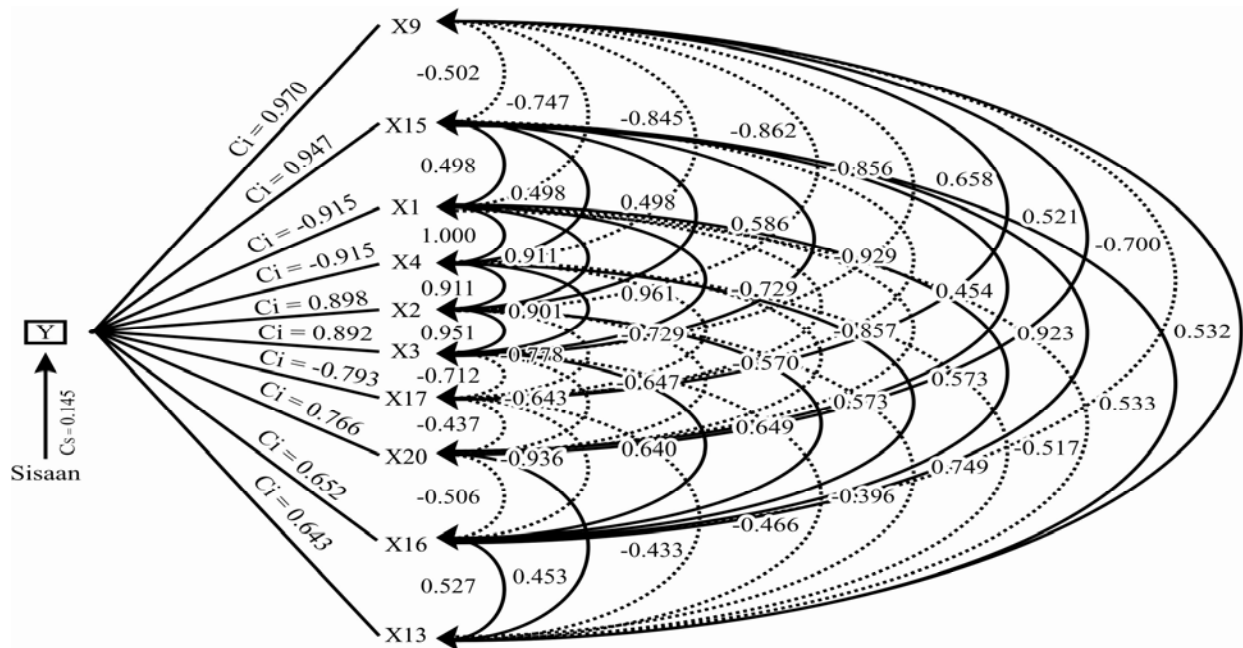
Karakteristik mutu benih <i>Seed quality characters</i>	Umur panen benih kakao hibrida <i>Seed harvest time of cacao hybrid</i>			
	TSH 858		ICS 60	
	120-150 HSA	150-180 HSA	120-165 HSA	165-180 HSA
Total klorofil benih <i>Seed Chlorophyll total</i>	- 0,854**	- 0,860**	- 0,803**	- 0,764**
Karotenoid benih <i>Seed carotenoid</i>	0,706*	- 0,824**	0,832**	- 0,903**
Antosiani benih <i>Seed anthocyanin</i>	0,701*	- 0,922**	0,698*	- 0,903**
Ukuran benih <i>Seed size</i>	- 0,806**	- 0,949**	0,864**	- 0,777**
Bobot basah benih <i>Seed wet weight</i>	0,495 ^{tn}	- 0,565*	0,686*	- 0,539*
Bobot kering benih <i>Seed dry weight</i>	0,766**	- 0,699*	0,685*	- 0,537*
Daya kecambah benih <i>Seed germination</i>	0,837**	- 0,730*	0,702*	- 0,894**
Indeks vigor benih <i>Seed vigor index</i>	0,765**	- 0,971**	0,759**	- 0,981**
K _{CT} -R <i>Germination rate/ K_{CT}-R</i>	0,725*	- 0,908**	0,703*	- 0,984**
T ₅₀ <i>Germination rate/ T₅₀</i>	- 0,547*	0,958**	- 0,546*	0,965**
LPK <i>Speed of germination/LPK</i>	- 0,233 ^{tn}	- 0,636*	- 0,601*	- 0,980**
Jumlah daun <i>Number of leaves</i>	0,954**	- 0,855**	0,866**	- 0,695*
Tinggi bibit <i>Seedling height</i>	0,905**	- 0,755**	0,955**	- 0,730*
Panjang akar <i>Length of root</i>	0,727*	0,421 ^{tn}	0,620*	0,395 ^{tn}
Jumlah akar <i>Number of roots</i>	0,452 ^{tn}	0,517 ^{tn}	0,305 ^{tn}	0,867**
Total klorofil buah <i>Fruit chlorophyll total</i>	- 0,854**	- 0,860**	- 0,803**	- 0,764**
Karotenoid buah <i>Fruit carotenoid</i>	0,706*	- 0,824**	0,832**	- 0,903**
Antosiani buah <i>Fruit anthocyanin</i>	0,701*	- 0,922**	0,698*	- 0,903**
Warna buah merah <i>Red color of fruit</i>	- 0,695*	- 0,912**	-	-
Warna buah hijau <i>Green color of fruit</i>	- 0,411 ^{tn}	- 0,866**	- 0,738*	- 0,978**
Warna buah kuning <i>Yellow color of fruit</i>	0,881**	0,964**	0,738*	0,978**
Ukuran buah <i>Fruit size</i>	- 0,701*	- 0,269 ^{tn}	- 0,360 ^{tn}	- 0,876**

Keterangan : ** = sangat nyata P < 0,01, * = nyata P < 0,05, tn = tidak nyata dan (-) = tidak ada data
 Note : ** = highly significant P < 0,01, * = significant P < 0,05, tn = not significant, and (-) = not data

Hasil di atas menunjukkan masak fisiologis benih tercapai pada fase pertama (120-150 HSA) untuk kakao hibrida TSH 858 dan 120-165 HSA untuk ICS 60 x Sca 6 dan setelah fase kedua (150-180 dan 165-180 HSA) perkembangan benih mulai menurun. Berbeda dengan kandungan total klorofil benih dan buah, warna buah merah dan hijau kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6 pada periode awal hingga benih mencapai masak fisiologis dan setelah masak fisiologis masih mengalami penurunan. Menurut HILL *et al.* (2004), bahwa selama periode perkembangan benih *tall fescue* kandungan klorofil berkorelasi negatif. Selama fase perkembangan benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6, karakter yang tidak berkorelasi nyata seperti bobot basah benih, LPK, panjang akar, jumlah akar, warna buah hijau, dan ukuran buah tidak dapat digunakan sebagai penentu masak fisiologis benih. Untuk benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6, karakter yang berkorelasi tidak nyata adalah panjang akar, jumlah akar, dan ukuran buah. Berdasarkan hasil uji korelasi disimpulkan bahwa karakter biokimia, biofisik, fisiologis, agronomi, dan morfologis yang berkorelasi nyata dapat digunakan sebagai indikator penentu masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6.

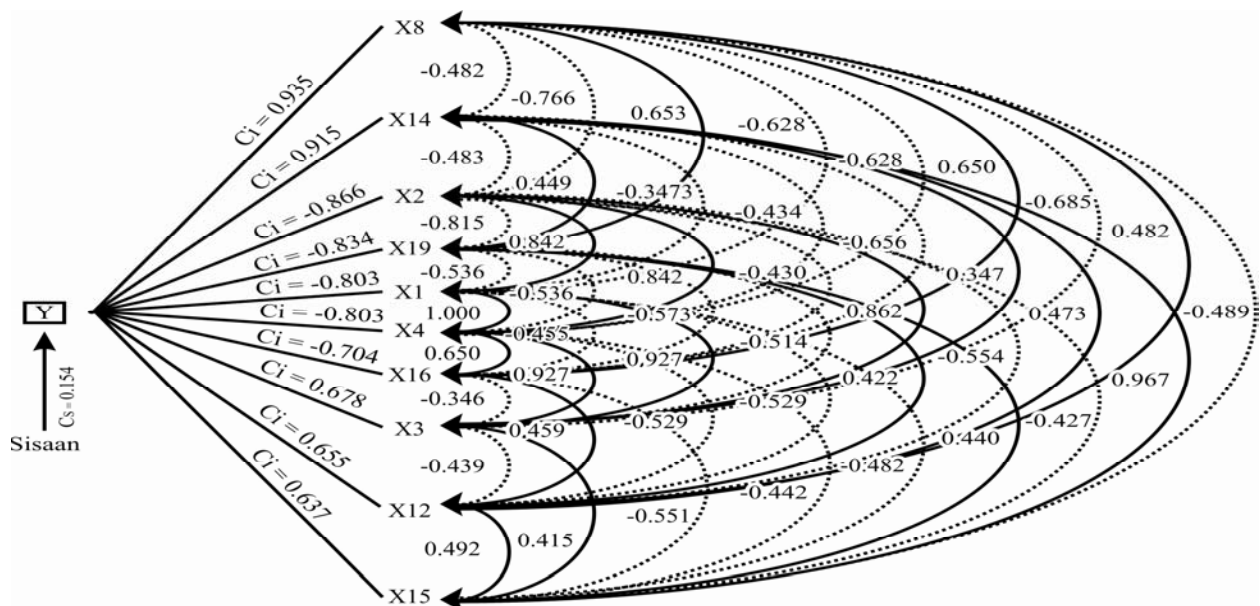
Hubungan Langsung dan Tidak Langsung antara Umur Panen dan Beberapa Karakteristik Mutu Benih Kakao Hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6

Hubungan langsung serta tidak langsung antara umur panen dan beberapa karakteristik mutu benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6 disajikan pada Gambar 5 dan 6. Gambar 5 menunjukkan bahwa karakter yang berhubungan langsung dengan mutu benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 pada saat masak fisiologis meliputi warna buah kuning, indeks vigor, total klorofil benih dan buah, karotenoid dan antosianin benih, T₅₀, tinggi bibit, K_{CT}-R, dan bobot kering benih. Karakter-karakter yang tidak berhubungan langsung adalah karotenoid dan antosianin buah, warna buah merah dan hijau, ukuran benih, daya kecambah, dan jumlah daun. Karakter-karakter yang berhubungan secara langsung maupun tidak langsung antara umur panen dengan karakteristik mutu benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 menunjukkan nilai ragam sebesar 85,5%. Artinya semua karakter yang diamati mampu memberikan kontribusi sebesar 85,5% terhadap penentuan mutu benih. Gambaran ini menyimpulkan bahwa karakter-karakter tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi mutu benih pada saat masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6.



Gambar 5. Hubungan langsung dan tidak langsung antara umur panen dan mutu benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 (Y) dengan: X9 = warna buah kuning, X15 = indeks vigor, X1 = kandungan total klorofil benih, X4 = total klorofil buah, X2 = karotenoid benih, X3 = antosianin benih, X17 = T_{50} , X20 = tinggi bibit, X16 = K_{CT-R} , X13 = bobot kering benih, serta Ci = hubungan langsung dan Cs = ragam atau sisaan

Figure 5. The direct and indirect correlation between harvest time and seeds quality of hybrid cacao TSH 858 x Sca 6 (Y) that is: X9 = yellow colour fo fruits, X15 = vigor index, X1 = seed chlorophyll total content, X4 = chlorophyll total of fruit, X2 = seed carotenoid, X3 = anthocyanin of seed, X17 = T_{50} , X20 = Seedling height, X16 = K_{CT-R} , X13 = seed dry weight, Ci = direct correlation, and Cs = combination



Gambar 6. Hubungan langsung dan tidak langsung antara umur panen dan mutu benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6 (Y) dengan: X8 = warna buah kuning, X14 = indeks vigor, X2 = kandungan karotenoid benih, X19 = tinggi bibit, X1 = total klorofil benih, X4 = total klorofil buah, X16 = T_{50} , X3 = antosianin benih, X12 = bobot kering benih, X15 = K_{CT-R} , serta Ci = hubungan langsung dan Cs = ragam atau sisaan

Figure 6. The direct and indirect correlation between harvest time and seeds quality of hybrid cacao ICS 60 x Sca 6 (Y) with: X8 = yellow colour fo fruits, X14 = vigor index, X2 = seed carotenoid content, X19 = seedling height, X1 = seed chlorophyll total, X4 = seed chlorophyll total of fruit, X16 = T_{50} , X3 = seed anthocyanin, X12 = seed dry weight, X15 = K_{CT-R} , Ci = direct correlation, and Cs = combination

Gambar 6 memperlihatkan bahwa karakter yang berhubungan langsung dengan mutu benih pada saat masak fisiologis adalah warna buah kuning, indeks vigor, karotenoid benih, tinggi bibit, total klorofil benih dan buah, T_{50} , antosianin benih, bobot kering benih, dan K_{CT-R} . Karakter yang tidak berhubungan secara langsung meliputi karotenoid dan antosianin buah, warna buah hijau, ukuran benih, daya kecambah, dan jumlah daun. Karakter yang berhubungan secara langsung maupun tidak langsung antara umur panen dengan karakteristik mutu benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6 menunjukkan nilai ragam sebesar 84,6%. Artinya semua karakter yang diamati mampu memberikan kontribusi sebesar 84,6% terhadap penentuan mutu benih. Gambaran ini menyimpulkan bahwa karakter-karakter tersebut juga dapat dipakai untuk mendeteksi mutu benih pada saat masak fisiologis benih kakao hibrida ICS 60 x Sca 6.

KESIMPULAN

Terdapat dua fase indikator penentuan masak fisiologis benih kakao hibrida yaitu : (1) fase sebelum hingga masak fisiologis untuk TSH 858 x Sca 6 pada saat 120-150 HSA dan 120-165 HSA untuk ICS 60 x Sca 6 dan (2) fase setelah masak fisiologis.

Pada saat masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6, daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , kecepatan perkecambahan (T_{50} menurun), bobot basah dan bobot kering benih, karotenoid dan antosianin benih dan buah mencapai maksimum dan menurun pada fase kedua. Pada ICS 60 x Sca 6, daya kecambah, indeks vigor, K_{CT-R} , kecepatan perkecambahan (T_{50} menurun), bobot basah dan bobot kering benih, karotenoid dan antosianin benih dan buah, serta ukuran benih mencapai maksimum dan menurun pada periode kedua.

Selama periode perkembangan benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 terjadi penurunan ukuran benih, total klorofil benih dan buah, warna buah merah dan hijau, sedangkan warna buah kuning mengalami peningkatan. Pada ICS 60 x Sca 6 terjadi penurunan total klorofil benih dan buah, serta warna buah hijau tetapi warna buah kuning mengalami peningkatan.

Karakter yang berhubungan langsung dengan mutu benih pada saat masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 dan ICS 60 x Sca 6 adalah warna buah kuning, indeks vigor, total klorofil benih dan buah, karotenoid dan antosianin benih, T_{50} , tinggi bibit, K_{CT-R} , dan bobot kering benih.

Berdasarkan hasil dari berbagai karakter yang diamati maka masak fisiologis benih kakao hibrida TSH 858 x Sca 6 diperoleh pada umur panen 150 HSA dan ICS 60 x Sca 6 pada umur panen 165 HSA. Pada umur panen benih tersebut menghasilkan mutu benih yang terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- AGATI, G., P. PINELI, S.C.S. EBNER, A. ROMANI, A.L. CARTELAT, and Z.G. CEROVIC. 2005. Non destructive evaluation of anthocyanins in olive (*Olea europaea*) fruits by in situ chlorophyll fluorescence spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 53:1354-1363.
- BASHARUDIN, M. 1994. Studi Rekalsitransi pada berbagai Fase Perkembangan Benih Kakao (*Theobroma cacao* L.). Skripsi. Faperta. Institut Pertanian Bogor. 61p (Tidak dipublikasikan).
- CURIR, P., M. DOLCI, G. COREA, F. GALEOTI, and V. LANZOTTI. 2006. The plant antifungal isoflavone genistein is metabolized by *Armillaria mellea* Vahl. to give non-fungitoxic products. *Plant Biosystems.* 140:156-162.
- COELHO, C.M.M. and V.A. BENEDITO. 2008. Seed development and reserve compound accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Sci. and Biotech.* 42-52.
- DITJEN PERKEBUNAN. 2010. Statistik Perkebunan (*Tree Crop Estate Statistics*). Departemen Pertanian. 50 p.
- GITELSON, A.A., Y. ZUR, B. OLGA, CHIVKUNOVA, and M.N. MERZYAK. 2002 Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology.* 75: 272-281.
- HARRINGTON, J.F. 1972. Seed storage longevity. In Kozlowsky, T.T. (Ed.). *Seed Biology*. New York, Academic Press. III: 145-245.
- HILL, N.S., J.H. BOUTON, E.E. HIATT III, and B. KITTLE. 2004. Seed maturity and endophyte relationships in tall fescue (*Festuca arundinaceae* Shreb.). *Crop Science Society of America.* 859-863.
- INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. 2009. *Bulletin of Cacao Statistics. ICCO 2009.*
- MEENA, R.A., K. RATHINAVEL, R.K. DESHMUKH, and O.P. TUTEJA. 1999. Storage potential of tetraploid and diploid cottons under ambient conditions. *Seed Sci. Res.* 27: 125-127.
- MONMA, M., J. TERAOKA, M. ITO, M. SAITO, and K. CHIKUNI. 1994. Carotenoid components in soybean seeds varying with seed color and maturation stage. *Biotech Biochem.* 58:926-930.
- PORRA, R.J., W.A. THOMPSON, and P.E. KRIEDEMANN. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Bioch et Biophysical Acta.* 975:384-394.
- PRASETYANINGSIH, G.W. 2006. Kemungkinan Karotenoid sebagai Indikator Tingkat Masak Fisiologis Benih Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Sturt). Skripsi.

- Program Studi Pemuliaan Tanaman dan Teknologi Benih. Faperta IPB (Tidak dipublikasikan).
- PUTEH, A.B., A.S. JURAIMI, and R.B. MOHAMAD. 2008. Influence of weeds on seed development, yield components, and seed quality in okra (*Abelmoschus esculentus*). *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 18 (2) : 77-81.
- SUHARTANTO, M.R. 2002. Chlorophyll in Tomato Seeds : Marker for Seed Performance. Wageningen Univ. The Netherlands. 150 p.
- WIRAWAN, B. 1992. Desiccation of recalcitrant and orthodox seed in relation to the stage of seed development and germination. Thesis . Univ. of the Philippines at Los Banos. Philippines. 163 p.