

# Morfologi dan Fase Pertumbuhan Sorgum

Aviv Andriani dan Muzdalifah Isnaini  
Balai Penelitian Tanaman Serealia

## PENDAHULUAN

Sorgum merupakan tanaman serealia yang dapat tumbuh pada berbagai keadaan lingkungan sehingga potensial dikembangkan, khususnya pada lahan marginal beriklim kering di Indonesia. Keunggulan sorgum terletak pada daya adaptasinya yang luas, toleran terhadap kekeringan, produktivitas tinggi, dan lebih tahan terhadap hama dan penyakit dibandingkan dengan tanaman pangan lainnya. Selain budi daya yang mudah, sorgum mempunyai manfaat yang luas, antara lain untuk pakan, pangan, dan bahan industri (Yulita dan Risda 2006).

Tanaman sorgum sekeluarga dengan tanaman serealia lainnya seperti padi, jagung, hanjeli dan gandum, dan bahkan tanaman lain seperti bambu dan tebu. Dalam taksonomi, tanaman-tanaman tersebut tergolong dalam satu keluarga besar *Poaceae* yang juga sering disebut sebagai *Gramineae* (rumput-rumputan). Tanaman sorgum termasuk tanaman serealia yang memiliki kandungan gizi tinggi, meliputi karbohidrat, lemak, kalsium, besi, dan fosfor (Dicko *et al.* 2006).

Di negara-negara berkembang, sorgum dibudidayakan terutama sebagai bahan pangan dan minuman beralkohol atau bahan upacara adat. Minuman beralkohol yang dibuat dari biji sorgum dapat berupa bir berasal dari biji yang difermentasi setelah dikecambahkan. Di negara-negara maju, batang atau biji sorgum digunakan sebagai pakan, media jamur merang. Khusus sorgum manis, batangnya digunakan sebagai bahan untuk gula dan kertas (Yulita dan Risda 2006, Sundra dan Marimutu 2012).

## MORFOLOGI

Genus *sorghum* terdiri atas 20 atau 32 spesies, berasal dari Afrika Timur, satu spesies di antaranya berasal dari Meksiko. Tanaman ini dibudidayakan di Eropa Selatan, Amerika Utara, Amerika Tengah, dan Asia Selatan. Di antara spesies-spesies sorgum, yang paling banyak dibudidayakan adalah spesies *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Morfologi tanaman sorgum mencakup akar, batang, daun, tunas, bunga, dan biji.

## Perakaran

Tanaman sorgum merupakan tanaman biji berkeping satu, tidak membentuk akar tunggang, perakaran hanya terdiri atas akar lateral. Sistem perakaran sorgum terdiri atas akar-akar seminal (akar-akar primer) pada dasar buku pertama pangkal batang, akar skunder dan akar tunjang yang terdiri atas akar koronal (akar pada pangkal batang yang tumbuh ke arah atas) dan akar udara (akar yang tumbuh di permukaan tanah). Tanaman sorgum membentuk perakaran sekunder dua kali lebih banyak dari jagung. Ruang tempat tumbuh akar lateral mencapai kedalaman 1,3-1,8 m, dengan panjang mencapai 10,8 m. Sebagai tanaman yang termasuk kelas monokotiledone, sorgum mempunyai sistem perakaran serabut (Artschwanger 1948, Singh *et al.* 1997, Rismunandar 2006).

Akar primer adalah akar yang pertama kali muncul pada proses perkecambahan benih yang berkembang dari radikula, berfungsi sebagai alat transportasi air dan nutrisi bagi kecambah dalam tanah. Seiring dengan proses pertumbuhan tanaman pada saat muncul akar sekunder pada ruas pertama, fungsinya segera digantikan oleh akar sekunder (Arthswager 1948, Singh *et al.* 1997, du Plessis 2008).

Akar skunder berkembang di ruas pertama pada mesokotil di bawah tanah yang kemudian berkembang secara ekstensif yang diikuti oleh matinya akar primer. Pada tahap selanjutnya, akar sekunder berfungsi menyerap air dan unsur hara. Panjang akar ini 5-15 cm. Akar skunder berukuran kecil, seragam, dan hanya sebagian kecil dari sistem perakaran sorgum. Akar skunder lain tumbuh mulai pada ruas kedua dari mesokotil hingga ke atas, yang lebih dikenal sebagai akar permanen. Akar permanen bercabang secara lateral dan masuk ke tanah secara vertikal. Pada tanah yang gembur, akar skunder mampu tumbuh hingga 1 m ke samping dan 2 m ke dalam tanah untuk menyerap nutrisi (Arthswager 1948, Singh *et al.* 1997, du Plessis 2008).

Akar tunjang berkembang dari primordial buku yang berada kurang dari 1 m. Pada tanaman sorgum, bahkan akar tunjang lebih tinggi dari akar jagung, mencapai 1,2 m di atas permukaan tanah, berfungsi seperti jangkar bagi tanaman. Akar tunjang umumnya berukuran lebih besar dan berwarna lebih gelap jika berada di permukaan tanah. Akar tunjang memiliki ukuran dan fungsi yang sama dengan akar normal apabila mencapai tanah. Perakaran tanaman sorgum sanggup menopang pertumbuhan dan perkembangan tanaman ratun hingga dua atau tiga kali lebih kuat, dan menjadikan tanaman toleran kekeringan (House 1985, Arthswager 1948, Singh *et al.* 1997, du Plessis 2008).

## Batang

Batang tanaman sorgum merupakan rangkaian berseri dari ruas (*internodes*) dan buku (*nodes*), tidak memiliki kambium. Pada bagian tengah batang terdapat seludang pembuluh yang diselubungi oleh lapisan keras (sel-sel parenchym). Tipe batang bervariasi dari solid dan kering hingga sukulen dan manis. Jenis sorgum manis memiliki kandungan gula yang tinggi pada batang gabusnya, sehingga berpotensi dijadikan sebagai bahan baku gula sebagaimana halnya tebu (Hunter and Anderson 1997, Hoeman 2012). Bentuk batang tanaman sorgum silinder dengan diameter pada bagian pangkal berkisar antara 0,5-5,0 cm. Tinggi batang bervariasi, berkisar antara 0,5-4,0 m, bergantung pada varietas (House 1985, Arthswager 1948, du Plessis 2008).

Ruas batang sorgum pada bagian tengah tanaman umumnya panjang dan seragam di banding ruas pada bagian bawah dan atas tanaman. Ruas paling panjang terdapat pada ruas terakhir (ujung tanaman), yang berupa tangkai malai. Permukaan ruas batang sorgum mirip dengan tanaman tebu, yaitu diselubungi oleh lapisan lilin yang tebal, kecuali pada ujung batang. Lapisan lilin paling banyak pada bagian atas dari pelepah daun, yang berfungsi mengurangi transpirasi sehingga sorgum toleran terhadap kekeringan. Buku pada batang sorgum rata dengan ruasnya, pada bagian ini tumbuh akar tunjang dan tunas (Arthswager 1948, du Plessis 2008). Bagian dalam batang sorgum seperti spon setelah tua. Pada kondisi kekeringan, bagian dalam batang sorgum bisa pecah (du Plessis 2008).

Pada tanaman sorgum manis, bagian dalam batang berair (*juicy*) karena mengandung gula. Kandungan gula pada saat biji masak fisiologis berkisar antara 10-25% (Hunter and Anderson 1997). Kandungan gula pada tanaman sorgum manis merupakan karbohidrat yang dapat terfermentasi (*fermentable carbohydrates*) 15-23%. Kandungan gula tersebut terdiri atas sukrosa 70%, glukosa 20%, dan fruktosa 10%. Sorgum manis mampu memproduksi biomas 20-50 t/ha (Shoemaker *et al.* 2010).

Tinggi tanaman sorgum bergantung pada jumlah dan ukuran ruas batang. Sorgum memiliki tinggi rata-rata 2,6-4 m. Pohon dan daun sorgum mirip dengan jagung. Tinggi batang sorgum manis yang dikembangkan di China dapat mencapai 5 m, dan struktur tanaman yang tinggi ideal dikembangkan untuk pakan ternak dan penghasil gula (FAO 2002). Tinggi tanaman sorgum berhubungan erat dengan umur dan jumlah daun, pada tanaman berumur genjah tinggi dan jumlah daun lebih sedikit daripada tanaman berumur dalam.

## Tunas

Pada beberapa varietas sorgum, batangnya dapat menghasilkan tunas baru membentuk percabangan atau anakan dan dapat tumbuh menjadi individu baru selain batang utama (House 1985). Ruas batang sorgum bersifat *gemmiferous*, setiap ruas terdapat satu mata tunas yang bisa tumbuh sebagai anakan atau cabang. Tunas yang tumbuh pada ruas yang terdapat di permukaan tanah akan tumbuh sebagai anakan, sedangkan tunas yang tumbuh pada batang bagian atas menjadi cabang (Arthswager 1948). Pertumbuhan tunas atau anakan bergantung pada varietas dan lingkungan tumbuh tanaman sorgum. Pada suhu kurang dari 18°C memicu munculnya anakan pada fase pertumbuhan daun ke-4 sampai ke-6. Tanaman sorgum tahunan mampu menghasilkan anakan 2-3 kali lebih banyak dari sorgum semusim. Kemampuan menghasilkan anakan dan tunas lebih banyak menjadikan tanaman sorgum bisa dipanen untuk kemudian di ratun (Hunter and Anderson 1997, du Plessis 2008). Cabang pada tanaman sorgum umumnya tumbuh bila batang utama rusak. Jumlah cabang dan anakan bergantung pada varietas, jarak tanam, dan kondisi lingkungan (Arthswager 1948).

## Daun

Daun merupakan organ penting bagi tanaman, karena fotosintat sebagai bahan pembentuk biomasa tanaman dihasilkan dari proses fotosintesis yang terjadi di daun (Sitompul dan Guritno 1995). Sorgum mempunyai daun berbentuk pita, dengan struktur terdiri atas helai daun dan tangkai daun. Posisi daun terdistribusi secara berlawanan sepanjang batang dengan pangkal daun menempel pada ruas batang. Panjang daun sorgum rata-rata 1 m dengan penyimpangan 10-15 cm dan lebar 5-13 cm (Arthswager 1948, House 1985). Jumlah daun bervariasi antara 7-40 helai, bergantung pada varietas (Arthswager 1948, Martin 1970, Gardner *et al.* 1981).

Daun melekat pada buku-buku batang dan tumbuh memanjang, yang terdiri atas pelepah dan helaian daun. Pada pertemuan antara pelepah dan helaian daun terdapat ligula (*ligule*) dan kerah daun (*dewlaps*). Helaian daun muda kaku dan tegak, kemudian menjadi cenderung melengkung pada saat tanaman dewasa. Helaian daun berbentuk lanset, lurus mendatar, berwarna hijau muda hingga hijau tua dengan permukaan mengkilap oleh lapisan lilin. Stomata berada pada permukaan atas dan bawah daun. Tulang daun lurus memanjang dengan warna bervariasi dari hijau muda, kuning hingga putih, bergantung pada varietas (Arthswager 1948).

Keunikan daun sorgum terdapat pada sel penggerak yang terletak di sepanjang tulang daun. Sel ini dapat menggulung daun secara cepat bila terjadi kekeringan, untuk mengurangi transpirasi. Pelepah daun melekat pada ruas dan menyelimuti batang, agak tebal dan semakin tipis di pinggir, dengan lebar sekitar 25-30 cm atau beragam, bergantung varietas, bagian dalamnya berwarna putih dan mengkilat, sedangkan bagian luar berwarna hijau dan berlapis lilin. Permukaan pelepah licin hingga berambut (Arthswager 1948, du Plessis 2008).

Hasil penelitian Bullard dan York (1985) menunjukkan bahwa banyaknya daun tanaman sorgum berkorelasi dengan panjang periode vegetatif, yang dibuktikan oleh setiap penambahan satu helai daun memerlukan waktu 3-4 hari. Freeman (1970) menyebutkan bahwa tanaman sorgum juga mempunyai daun bendera (*leaf flag*) yang muncul paling akhir, bersamaan dengan inisiasi malai.

Daun bendera (*flag leaf*), merupakan daun yang terakhir (*terminal leaf*) sebelum muncul malai, memiliki fungsi yang sama sebagai organ fotosintesis dan menghasilkan fotosintat. Daun bendera umumnya lebih pendek dan lebar dari daun-daun pada batang (House 1985). Pelepah daun bendera menyelubungi primordia bunga selama proses perkembangan primordia bunga. Fase ini disebut sebagai fase *booting*, yang dalam bahasa Indonesia sering di sebut fase bunting. Daun bendera akan membuka oleh dorongan pemanjangan tangkai bunga dan perkembangan bunga dari primordia bunga menjadi bunga sempurna yang siap untuk mekar. Pelepah dan daun bendera di lapiasi oleh lapisan lilin yang tebal (Singh *et al.* 1997). Daun bendera muda bentuknya kaku dan tegak dan akan melengkung seiring dengan fase penuaan daun.

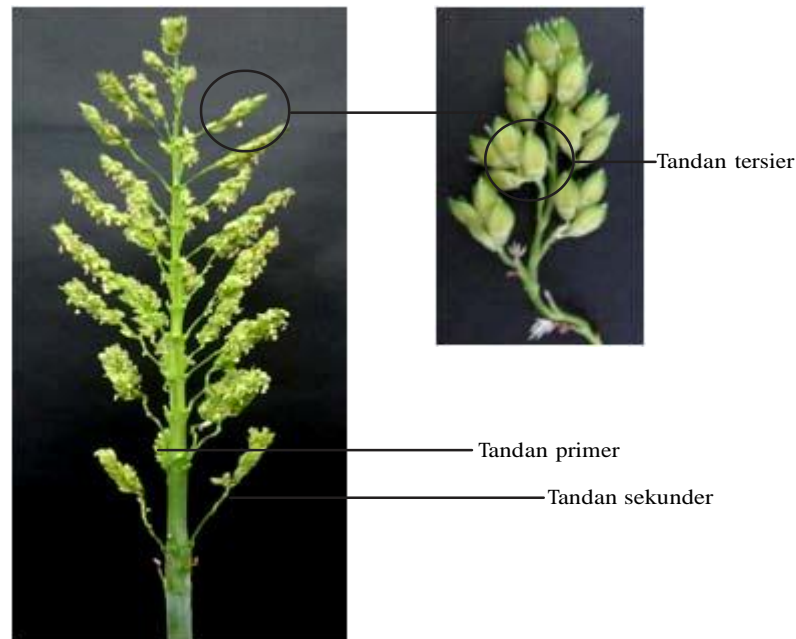
## Bunga

Rangkaian bunga sorgum berada pada malai di bagian ujung tanaman. Sorgum merupakan tanaman hari pendek, pembungaan dipicu oleh periode penyinaran pendek dan suhu tinggi (Pedersen *et al.* 1998). Bunga sorgum merupakan bunga tipe *panicle*/malai (susunan bunga di tangkai) (Hunter and Anderson 1997). Bunga sorgum secara utuh terdiri atas tangkai malai (*peduncle*), malai (*panicle*), rangkaian bunga (*raceme*), dan bunga (*spikelet*).

Tangkai malai (*peduncle*) merupakan ruas paling ujung (*terminal internode*) yang menopang malai dan paling panjang, yang terdapat pada batang sorgum. Tangkai malai memanjang seiring dengan perkembangan malai, dan mendorong malai keluar dari pelepah daun bendera. Ukuran panjang tangkai malai beragam, bergantung varietas. Pada beberapa

varietas, tangkai malai pendek dan tertutup oleh pelepah daun bendera dan berbentuk lurus atau melengkung (House 1985, Singh *et al.* 1997). Bagian dari tangkai malai/*peduncle* terlihat di antara pangkal malai/*panicle* dengan pelepah daun bendera yang disebut leher malai/*exsertion*. Panjang leher malai beragam, berkisar antara < 5,1 - > 20 cm (Singh *et al.* 1997, PPV and FRA 2007).

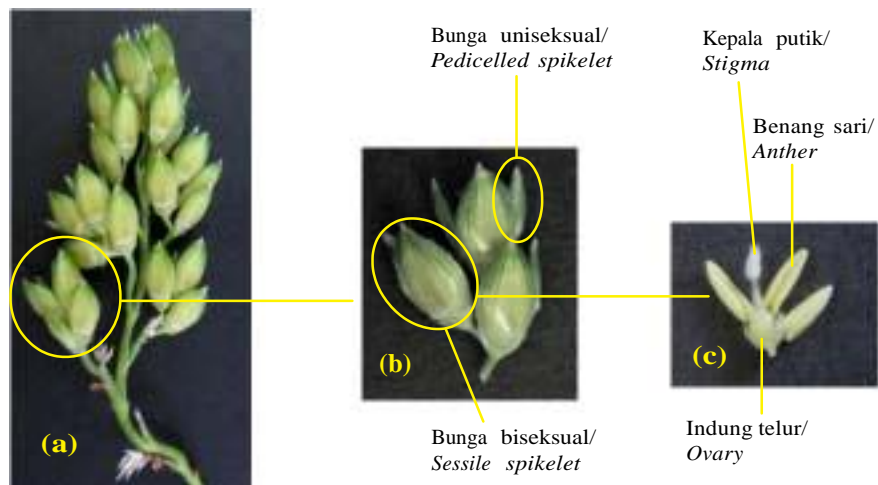
Malai (*panicle*) pada sorgum tersusun atas tandan primer, sekunder, dan tersier (Gambar 1). Susunan percabangan pada malai semakin ke atas semakin rapat, membentuk *raceme* yang longgar atau kompak, bergantung pada panjang poros malai, panjang tandan, jarak percabangan tandan dan kerapatan spikelet (Gambar 2). Ukuran malai beragam dengan panjang berkisar antara 4-50 cm dan lebar 2-20 cm (House 1985, Magness *et al.* 1971, Dicko *et al.* 2006). Malai tanaman sorgum beragam, bergantung pada varietas dan dapat dibedakan berdasarkan posisi, kerapatan, dan bentuk. Berdasarkan posisi, malai sorgum ada yang tegak, miring dan melengkung; sedangkan berdasarkan kerapatan, malai sorgum ada yang kompak, longgar, dan *intermedier*. Berdasarkan bentuk, malai ada yang oval, silinder, elip, seperti seruling, dan kerucut (Martin 1970). Pada sorgum tipe liar, bentuk malai cenderung *raceme* terbuka (Hunter and Anderson 1997).



Gambar 1. Susunan cabang pada bunga sorgum.



Gambar 2. Bentuk malai sorgum.



Gambar 3. Bagian-bagian pada *raceme* bunga sorgum: (a) *raceme*, (b) spikelet, (c) bunga biseksual/hermaprodit.

Rangkaian bunga (*raceme*) merupakan kumpulan beberapa bunga yang terdapat pada cabang sekunder. *Raceme* pada umumnya terdiri atas satu atau beberapa spikelet, dalam setiap spikelet terdapat dua macam bunga, yaitu bunga biseksual pada *sessile spikelet* dan bunga uniseksual pada *pediceled spikelet*, kecuali pada bunga yang paling ujung (*terminal sessile spikelet*) biasanya terdiri atas dua bunga uniseksual (*pediceled spikelets*) (Gambar 3). Ukuran *raceme* beragam, bergantung pada jumlah

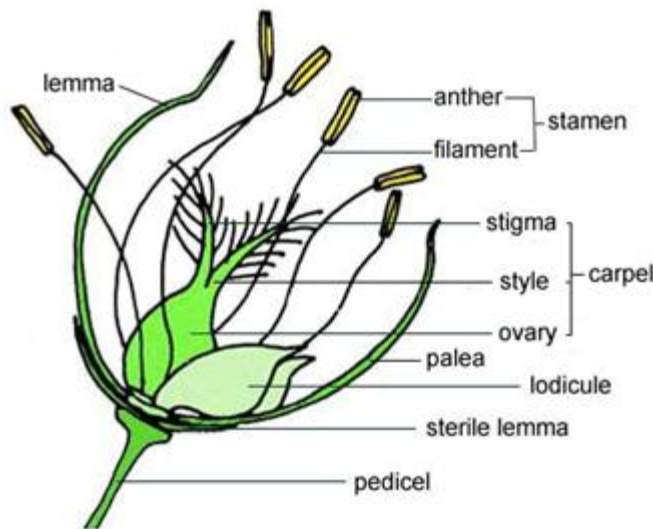


buku dan panjang ruas yang terdapat di dalam *raceme*, berkisar antara 1-8 buku, bergantung varietas. Ukuran ruas dan buku pada *raceme* hampir sama, berkisar antara 0,5-3,0 mm (House 1985).

Bunga (*spikelet*) merupakan bunga tunggal yang tersusun dalam rangkaian bunga (*raceme*). Pada setiap malai terdapat sekitar 1.500-4.000 bunga (du Plessis 2008). Dalam setiap bunga terdapat setidaknya satu bunga biseksual (hermaprodit) dan satu atau dua bunga uniseksual, berupa bunga jantan atau steril (House 1985, Martin 1970, Hunter and Anderson 1997).

Bunga biseksual/hermaprodit (*sessile spikelet*) merupakan bunga subur (*fertile*). Bentuk bunga biseksual beragam dari lanselot hingga bulat dengan panjang 3-10 mm, berwarna hijau pada fase pembungaan, kemudian berubah menjadi coklat setelah masak fisiologis. Warna glume pada saat masak fisiologis beragam, bergantung varietas, dari coklat, merah, hingga hitam (House 1985).

Bagian-bagian dari bunga biseksual terdiri atas dua glume, dua lemma, dua lodikula (*lodicules*), palea, putik/*stigma* dan tiga kotak sari/*stamen/anther* (Gambar 4). Dua glume pada bunga biseksual memiliki panjang hampir sama, dengan ketebalan yang beragam, dari tipis dan rapuh hingga tebal dan liat. Glume di bagian bawah menutupi sebagian glume di bagian atas, berurat 6-18, glume di bagian atas lebih sempit dan berujung lebih runcing. Warna bervariasi dari hitam, merah, coklat hingga putih, dari polos



Gambar 4. Bagian-bagian bunga biseksual/hermaprodit pada bunga sorgum.  
Sumber: Martin (1970)



hingga berambut (*hairy*) (House 1985, Martin 1970, du Plessis 2008). Dua buah lemma berwarna putih dan tipis, lemma paling bawah berbentuk elips atau oblong, memiliki panjang yang hampir sama dengan glume, sedangkan lemma bagian atas lebih pendek berbentuk bulat telur dan kadang berbulu (*awn*), bergantung varietas (Gambar 5). Dua lodikula dan palea berukuran kecil dan kurang menarik. Stigma memiliki dua tangkai putik yang ujungnya berbulu halus (*fluffy*), panjang tangkai putik beragam antara 0,5-1,5 mm, menempel pada bakal buah (*ovary*). Kotak sari (*anther*) memiliki tangkai benang sari (*filament*) untuk menempel pada dasar bunga (House 1985).

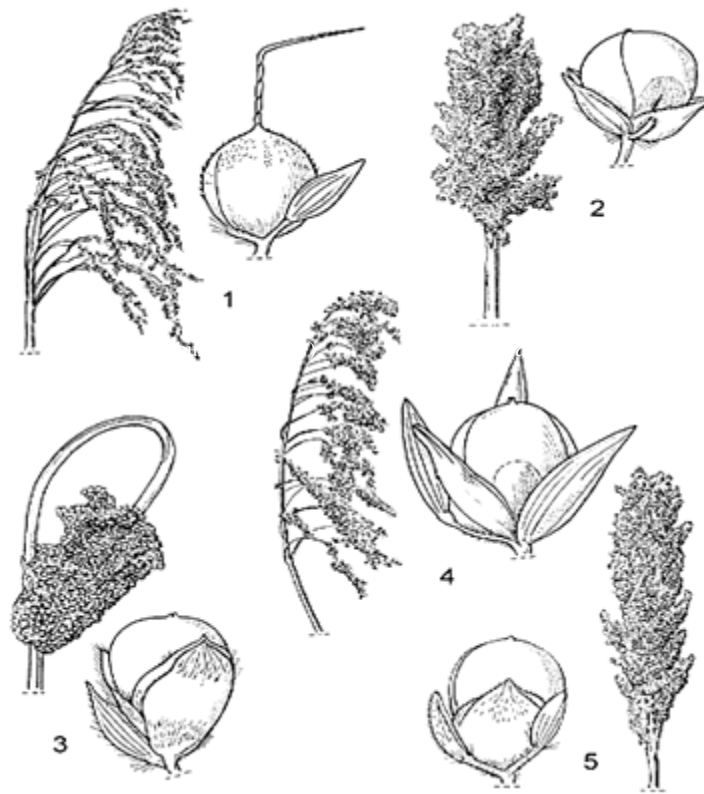
Bunga uniseksual (*pediceled spikelet*) terdiri atas bunga jantan atau bunga yang tidak subur dan kadang memiliki bakal buah yang tidak berkembang (*rudimentary ovary*), umumnya lebih kecil dari bunga biseksual. Bunga ini terdiri atas lemma, berbentuk lanselot, lebih kecil dari lemma pada bunga biseksual, dan kadang memiliki bulu (*awn*), bergantung pada varietas (House 1985).

Berdasarkan tipe malai, spikelet, bentuk malai dan glume, Harlan dan de Wet (1972) mengelompokkan sorgum menjadi lima kelompok kultivar (Gambar 6), sebagai berikut:

1. Kelompok kultivar *bicolor*, memiliki tipe malai terbuka bertangkai tegak dengan tandan menyebar, tandan di bagian bawah lebih panjang dari bagian atas. Biji memanjang, berbentuk obovate dengan bagian bawah simetris. Glume lebih panjang dari biji, dan menutup biji dengan sempurna. Kultivar kelompok *bicolor* berbatang manis dan dibudidayakan sebagai bahan baku etanol.



Gambar 5. Ragam bulu/awn pada lemma pada bunga sorgum.



Gambar 6. Tipe malai dan spikelet 5 kelompok kultivar sorgum.  
 1. bicolor, 2. caudatum, 3. durra, 4. guinea, 5. kafir  
 Sumber: Balole dan Legwaila (2006)

2. Kelompok kultivar Caudatum, memiliki tipe malai beragam tetapi agak kompak dan tegak, terdiri atas tandan yang kurang lebih sama panjang yang tersusun agak rapat. Biji berbentuk simetris, agak rata di satu sisi sedangkan di sisi yang lain menonjol. Glume menutupi < 0,5 dari panjang biji.
3. Kelompok kultivar Durra, memiliki tipe malai sangat kompak dan bertangkai melengkung, spikelet tanpa tangkai. Biji berbentuk bulat, tidak mempunyai glume bawah, ukuran glume sangat lebar dan melintang bagian tengah biji.
4. Kelompok kultivar Guinea, memiliki tipe malai terbuka dan tidak rapat, bertangkai agak melengkung, tandan di bagian bawah dan bagian atas berukuran panjang relatif sama. Biji bulat melebar dengan glume yang relatif sama panjang. Glume pada saat tua menjadi terbuka 90° dari

poros glume. Beberapa kultivar dari kelompok ini beradaptasi dengan kondisi lembab sehingga umum dibudidayakan di Asia Tenggara.

5. Kelompok kultivar Kaffir, malai memanjang dan agak kompak, tandan cenderung menegak mendekati poros malai. Biji agak simetris atau agak bulat, glume menjepit biji dengan ukuran yang beragam.

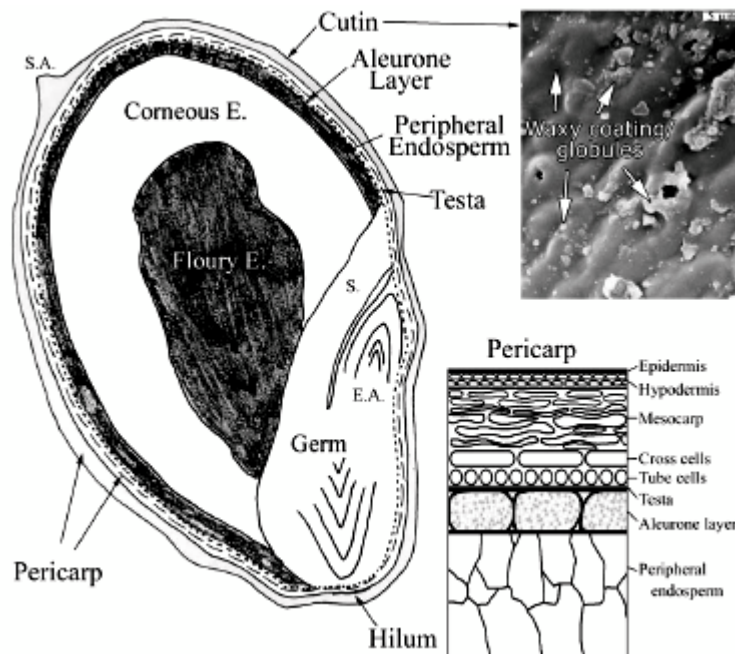
Selain lima kelompok kultivar tersebut, masih ada 10 kelompok kultivar pertengahan (*intermedier*), yaitu gabungan dari lima kultivar utama. Sepuluh kultivar intermedier tersebut adalah 1. Caudatum bicolor (cb), 2. Guinea bicolor (gb), 3. Durra bicolor (db), 4. Kafir bicolor (kb), 5. Durra caudatum (dc), 6. Guinea caudatum (gc), 7. Kafir caudatum (kc), 8. Guinea durra (gd), 9. Kafir durra (kd), 10. Guinea kafir (gk) (House 1985).

## Biji

Biji sorgum yang merupakan bagian dari tanaman memiliki ciri-ciri fisik berbentuk bulat (*flattened spherical*) dengan berat 25-55 mg (Dicko *et al.* 2006). Biji sorgum berbentuk butiran dengan ukuran 4,0 x 2,5 x 3,5 mm. Berdasarkan bentuk dan ukurannya, sorgum dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu biji berukuran kecil (8-10 mg), sedang (12-24 mg), dan besar (25-35 mg). Biji sorgum tertutup sekam dengan warna coklat muda, krem atau putih, bergantung pada varietas (Mudjisihono dan Suprpto 1987). Biji sorgum terdiri atas tiga bagian utama, yaitu lapisan luar (*coat*), embrio (*germ*), dan endosperm (Gambar 7).

Bagian lapisan luar biji sorgum terdiri atas hilum dan perikarp yang mengisi 7,3-9,3% dari bobot biji (du Plessis 2008). Hilum berada pada bagian dasar biji. Hilum akan berubah warna menjadi gelap/hitam pada saat biji memasuki fase masak fisiologis (House 1985). Perikarp terdiri atas lapisan mesokarp dan endocarp. Mesokarp merupakan lapisan tengah dan cukup tebal, berbentuk polygonal, dan mengandung sedikit granula pati. Endokarp tersusun dari sel yang melintang dan berbentuk tabung, pada endokarp terdapat testa dan aleuron. Pada lapisan ini terdapat senyawa fenolik (Dicko *et al.* 2005, du Plessis 2008).

Lapisan testa bersifat padat dan rapat. Ketebalan lapisan testa bervariasi untuk setiap varietas, biasanya paling tebal pada puncak biji dan yang tertipis terdapat di dekat lembaga. Ketebalan testa di puncak biji berkisar antara 100-140  $\mu\text{m}$ , dan yang paling tipis berukuran 10-30  $\mu\text{m}$ . Lapisan aleuron terdapat di atas permukaan endosperma biji. Warna biji dipengaruhi oleh warna dan ketebalan kulit (pericarp), terdapatnya testa serta tekstur dan warna endosperm. Warna pada testa adalah akibat adanya tanin (Hahn and Rooney 1986, Waniska 2000, Earp *et al.* 2004, du Plessis 2008). Tanin berasa pahit dan bersifat malnutrisi sehingga tidak disukai oleh burung dan



S.A.=Stylar area/bagian ujung, E.A.=Embryonic axis/inti embrio,  
S=Scutellum/Sekutelum  
Sumber: Earp *et al.* (2004)

Gambar 7. Biji sorgum dan bagiannya.

tidak sesuai sebagai bahan pangan maupun pakan. Semakin tinggi kadar tanin, semakin sedikit kerusakan akibat serangan burung. Warna biji sorgum sangat bervariasi, mulai dari putih, kuning hingga merah, coklat, dan ungu (du Plessis 2008).

Bagian embrio/germ meliputi 7,8-12,1% dari bobot biji yang terdiri atas bagian inti embrio/embryonic axis, skutelum/scutellum, calon tunas/plumule, dan calon akar/radicle. Pada bagian embrio mengandung asam lemak tak jenuh seperti asam linoleat, protein, lisin, dan polisakarida nonpati (Dicko *et al.* 2005, du Plessis 2008).

Bagian endosperma merupakan 80-84,6% dari bobot biji (du Plessis 2008). Endosperma terdiri atas lapisan endosperma luar (*peripheral endosperm*), tengah (*corneous endosperm*) dan dalam (*floury endosperm*). Komposisi setiap lapisan beragam, bergantung varietas. Lapisan *corneous* yang tebal menjadikan biji lebih keras di banding biji dengan sedikit lapisan *corneous* (House 1985).

Komponen utama biji sorgum adalah pati yang tersimpan dalam bentuk granula pada bagian endosperma dengan diameter 5-25  $\mu\text{m}$ . Pada bagian endosperma dan perikarp terdapat pula arabinosilan,  $\alpha$ -glukan, vitamin, dan mineral. (Dicko *et al.* 2005). Endosperma memiliki peran penting dalam penyediaan nutrisi bagi tanaman pada awal pertumbuhan, sebelum tanaman mampu menyerap hara dari tanah (du Plessis 2008). Endosperm umumnya berwarna putih atau kuning, warna kuning disebabkan oleh carotenoid yang merupakan penanda keberadaan vitamin A, tetapi umumnya sedikit (House 1985). Kandungan nutrisi pada biji sorgum terdiri atas karbohidrat 70-80%, protein 11-13%, lemak 2-5%, serat 1-3% dan abu 1-2%. Kandungan protein pada sorgum lebih tinggi dari jagung dan hampir sama dengan gandum, namun protein sorgum bebas gluten. Kandungan lemaknya lebih rendah dari jagung tetapi lebih tinggi dari gandum (Magness *et al.* 1971, Prasad and Staggenborg 2013).

## FASE PERTUMBUHAN SORGUM

Tanaman sorgum mempunyai pola pertumbuhan yang sama dengan jagung, namun interval waktu antara tahap pertumbuhan dan jumlah daun yang berkembang dapat berbeda. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai setiap tahap bergantung pada varietas dan lingkungan tumbuh. Faktor lingkungan tersebut antara lain kelembaban dan kesuburan tanah, hama dan penyakit, cekaman abiotik, populasi tanaman, dan persaingan gulma. Pertumbuhan tanaman sorgum dapat dikelompokkan ke dalam tiga tahap yaitu, fase vegetatif, fase reproduktif, dan pembentukan biji dan masak fisiologis (du Plessis 2008).

### Fase Pertumbuhan Vegetatif

Pada fase vegetatif bagian tanaman yang aktif berkembang adalah bagian-bagian vegetatif seperti daun dan tunas/anakan. Fase ini sangat penting bagi tanaman karena pada fase ini seluruh daun terbentuk sempurna berfungsi memproduksi fotosintat untuk pertumbuhan dan pembentukan biji. Fase vegetatif berlangsung pada saat tanaman berumur antara 1-30 hari. Tahap-tahap pertumbuhan pada fase vegetatif meliputi 3 tahap (House 1985, Gerik *et al.* 2003, dan Vanderlip 1993), yaitu:

#### 1. Tahap 0, saat kecambah muncul di atas permukaan tanah

Tahap ini disebut tahap 0 karena umur tanaman adalah 0 hari setelah berkecambah (HSB). Pada kondisi yang optimum, tahap ini terjadi antara 3-10 hari setelah tanam (HST). Munculnya kecambah dipengaruhi oleh suhu,

kelembaban, kedalaman posisi benih, dan vigor benih. Pada suhu tanah 20°C atau lebih, tunas pucuk (*coleoptile*) muncul di atas tanah setelah 3-4 HST, dan akan lebih lama jika suhu semakin rendah. Sedangkan akar skunder akan mulai berkembang 3-7 HSB. Selama tahap ini, pertumbuhan bergantung pada nutrisi dan cadangan makanan dari benih (House 1985, Vanderlip 1993).

Suhu dingin dengan kelembaban yang tinggi mendukung pertumbuhan organisme penyakit. Benih harus mendapatkan perlakuan dengan fungisida sebelum tanam. Penggunaan herbisida pratumbuh membantu menekan pertumbuhan gulma pada awal pertumbuhan. Sorgum sangat dianjurkan ditanam pada akhir musim hujan, sehingga panen bisa dilakukan pada musim kemarau. Hal ini penting karena biji sorgum mudah tumbuh dan terserang hama jika curah hujan terlalu tinggi mendekati panen (Vanderlip 1993).

## **2. Tahap 1, saat pelepah daun ke-3 terlihat**

Daun dihitung setelah pelepah daun mulai terlihat atau tidak lagi tertutup oleh pelepah daun sebelumnya, namun titik tumbuh masih berada di tanah. Laju pertumbuhan relatif lambat. Tahap ini berlangsung pada umur sekitar 10 HSB. Kecepatan pertumbuhan pada tahap ini bergantung pada suhu yang hangat. Penyiangan yang baik membantu tanaman untuk tumbuh secara optimal sehingga mampu memberikan hasil yang optimal. Namun penyiangan harus hati-hati supaya tidak merusak titik tumbuh, karena kemampuan sorgum untuk tumbuh kembali tidak sebaik tanaman jagung (Vanderlip 1993).

## **3. Tahap 2, saat daun ke-5 terlihat**

Pada tahap ini tanaman memasuki umur sekitar 20 HSB dan memasuki fase pertumbuhan cepat. Daun dan sistem perakaran berkembang dengan cepat. Pertumbuhan yang cepat memerlukan penyiangan, pupuk, pengairan, dan pengendalian hama dan penyakit yang optimal. Laju akumulasi bahan kering akan konstan hingga saat memasuki masak fisiologis bila kondisi pertumbuhan baik. Titik tumbuh masih berada di bawah permukaan tanah. Pada fase ini, batang belum memanjang, yang terlihat di permukaan tanah adalah lapisan pelepah daun, namun vigor tanaman lebih tinggi dibanding pada tahap 1 (Vanderlip 1993).

## **4. Tahap 3, tahap deferensiasi titik tumbuh**

Deferensiasi titik tumbuh berlangsung pada saat tanaman berumur sekitar 30 HSB. Pada fase ini titik tumbuh mulai membentuk primordia bunga. Setidaknya sepertiga jumlah daun sudah benar-benar berkembang, dan total jumlah daun optimal sudah terdeferensiasi. Batang tumbuh dengan



cepat mengikuti pertumbuhan titik tumbuh. Penyerapan unsur hara secepat pertumbuhan tanaman, sehingga kebutuhan hara dan air juga cukup tinggi, penambahan pupuk sangat membantu tanaman untuk tumbuh optimal. Waktu yang diperlukan dari penanaman hingga deferensiasi titik tumbuh umumnya menghabiskan sepertiga dari umur tanaman (Vanderlip 1993).

### **Fase Pertumbuhan Generatif**

Fase generatif umumnya berlangsung pada saat tanaman berumur 30-60 HST (Vanderlip 1993). Pada suhu panas, sorgum akan berbunga lebih cepat, dan pada kondisi suhu yang lebih rendah pembungaan sedikit lebih lambat (House 1985). Inisiasi bunga menandai akhir fase vegetatif dan dimulainya fase reproduktif/generatif. Pada fase ini terbentuk struktur malai (*panicle*) dan jumlah biji yang bisa terbentuk dalam satu malai. Fase ini sangat penting bagi produksi biji karena jumlah biji yang akan diproduksi maksimum 70% dari total bakal biji yang tumbuh periode ini. Jika pertumbuhan malai terganggu akan menurunkan jumlah biji yang akan terbentuk (du Plessis 2008). Tahap-tahap pertumbuhan fase generatif meliputi:

#### **1. Tahap 4, saat munculnya daun bendera**

Daun bendera muncul pada saat tanaman berumur sekitar 40 HSB yang ditandai oleh terlihatnya daun bendera yang masih menggulung. Setelah diferensiasi titik tumbuh, perpanjangan batang dan daun terjadi secara cepat bersamaan sampai daun bendera (daun akhir). Pada tahap ini semua daun sudah terbuka sempurna, kecuali 3-4 daun terakhir. Intersepsi cahaya mendekati maksimal (Vanderlip dan Reeves 1972, Vanderlip 1993).

Memasuki umur 40-45 HST, malai mulai memanjang dalam daun bendera dimana ukuran malai ditentukan pada saat ini. Pertumbuhan dan serapan hara jauh lebih besar dan lebih 40% kalium sudah diserap. Laju pertumbuhan dan penyerapan hara cepat, sehingga kecukupan pasokan nutrisi dan air diperlukan untuk pertumbuhan maksimal. Tanaman sorgum pada fase ini cukup kompetitif dengan gulma, namun pengendalian gulma tetap harus diperhatikan. Sekitar seperlima dari total pertumbuhan telah tercapai (Vanderlip and Reeves 1972, Vanderlip 1993, Rao *et al.* 2004).

#### **2. Tahap 5, menggelembungnya pelepah daun bendera**

Pada 6-10 HSB, pelepah daun bendera menggelembung, atau terjadi pada saat tanaman berumur sekitar 50 HSB. Pada fase ini seluruh daun telah berkembang sempurna, sehingga luas daun dan intersepsi cahaya mencapai maksimal. Malai berkembang hampir mencapai ukuran

maksimum dan tertutup dalam pelepah daun bendera, sehingga pelepah daun bendera menggelembung. Pertumbuhan batang sudah selesai, kecuali tangkai bunga (*peduncle*). Tangkai bunga mulai memanjang dan mendorong malai (*panicle*) untuk keluar dari pelepah daun bendera. Ukuran malai telah terdeferensiasi. Stres kelembaban tinggi dan kerusakan akibat herbisida selama fase pembentukan malai dapat mencegah malai keluar dari selubung daun bendera. Hal ini dapat mencegah penyerbukan saat berbunga (House 1985, Vanderlip 1993).

### 3. Tahap 6, tanaman 50% berbunga

Pada tahap pertumbuhan 5, tangkai malai tumbuh cepat dan muncul dari pelepah daun bendera. Tangkai malai ada yang memanjang dan ada yang tidak memanjang dari sebelum malai keluar dari pelepah daun bendera, bergantung varietas. Pada saat keluar dari daun bendera, malai segera mekar. Fase pembungaan 50% biasanya pada saat tanaman berumur sekitar 60 HSB, ditandai oleh sebagian malai sudah mekar, yaitu pada saat kotak sari (*anther*) keluar dari lemma dan palea (Vanderlip 1993).

Pada fase ini bagian vegetatif tanaman seperti batang mengalami sedikit peningkatan, dan telah mencapai produksi biomas maksimum, sekitar 50% dari total bobot kering tanaman. Serapan hara N, P, dan K telah mencapai hampir 70%, 60%, dan 80% dari total N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan K<sub>2</sub>O. Jika kondisi lingkungan menguntungkan, hasil sorgum masih dapat ditingkatkan dengan meningkatnya bobot biji. Kekeringan pada tahap ini dapat mengakibatkan menurunnya pengisian biji (Vanderlip and Reeves 1972, Vanderlip 1993, Rao *et al.* 2004).

Bunga sorgum akan mekar teratur dari tujuh cabang malai paling atas atau ujung malai (*panicle*) kemudian tengah dan terakhir bagian bawah. Lama pembungaan dari bunga pertama kali mekar berkisar antara 6-9 hari setelah malai keluar dari pelepah daun bendera (House 1985, Vanderlip 1993, Pendleton *et al.* 1994, Gerik *et al.* 2003, du Plessis 2008). Bunga sorgum pada umumnya mekar hanya beberapa saat sebelum atau sesudah matahari terbit. Cuaca mendung, suhu yang rendah, dan kelembaban tinggi menunda bunga untuk mekar (House 1985, Pedersen *et al.* 1998). Individu bunga mulai mekar pada saat bunga mulai membuka dari kumpulan rangkaian bunga (*raceme*), 7 menit kemudian lemma dan palea akan terbuka sempurna selama 20 menit, diikuti oleh keluarnya kepala putik dan benang sari (Stephens 1934, Pedersen *et al.* 1998).

Hasil penelitian Stephens (1934), menunjukkan bunga sorgum secara umum akan mekar (*anthesis*) sebelum pukul 10 pagi, bunga hermaphrodit akan mekar terlebih dahulu, sedangkan bunga tunggal akan mekar 2-4 hari kemudian. Bunga hermaphrodit dalam satu malai seluruhnya akan mekar

dalam waktu 6-9 hari. Dalam setiap bunga setidaknya terdapat 15.000 serbuk sari, dan dalam setiap malai terdapat 24-100 juta serbuk sari dari bunga hermaphrodit.

Serbuk sari sangat rentan terhadap kekeringan, sehingga cepat kehilangan viabilitas. Viabilitas serbuk sari merupakan kemampuan untuk berkecambah atau membentuk tabung serbuk sari (*pollen tube*) setelah menyerbuki putik. Viabilitas serbuk sari yang mendapat cekaman kekeringan tidak dapat kembali meski telah dilembabkan (*rehydrated*). Pada kondisi *in vitro*, serbuk sari mampu berkecambah dan membentuk tabung serbuk sari (Lansac *et al.* 1994). Serbuk sari (*pollen*) dapat hidup (*viable*) 3-6 jam setelah mekar (Stephens 1934, House 1985). Putik bunga sorgum mulai reseptif 2 hari sebelum bunga mekar, hingga 8-16 hari setelah bunga mekar, tetapi reseptif optimal selama 3 hari setelah mekar (Stephens 1934, Pedersen *et al.* 1998, Bello 2008).

Pada saat sekam terbuka, proses penyerbukan terjadi. Pada varietas tertentu yang memiliki sekam panjang, sekam tidak membuka sehingga terjadi penyerbukan sendiri (*cleistogamy*) (Stephens 1934, House 1985, Pedersen *et al.* 1998). Sorgum merupakan tanaman menyerbuk sendiri dengan peluang menyerbuk silang 2-10%. (Pedersen *et al.* 1998). Sekam (*glume*) mulai menutup kembali setelah 20 menit terbuka dan menutup dengan sempurna 2 jam kemudian atau segera setelah proses penyerbukan. Setelah kotak sari yang sudah kosong, kepala putik akan tetap menonjol keluar sekam, kecuali pada varietas bersekam panjang. Pembuahan (*fertilization*) terjadi 6-12 jam setelah penyerbukan (Stephens 1934, House 1985).

## FASE PEMBENTUKAN DAN PEMASAKAN BIJI

Fase pembentukan dan pemasakan biji merupakan tahap akhir pertumbuhan tanaman sorgum, yang berlangsung pada saat tanaman mencapai umur 70-95 HSB (Vanderlip 1993). Fase ini diawali dengan proses pembuahan, hingga akumulasi bahan kering pada biji terhenti yang ditandai oleh munculnya lapisan hitam (*black layer*) pada bagian bawah biji yang menempel di tangkai (Gerik *et al.* 2003). Perkembangan biji sorgum ditandai oleh perubahan warna, pada awal pembentukan berwarna hijau muda, dan setelah sekitar 10 hari akan semakin besar dan berwarna hijau gelap, setelah 30 hari biji akan mencapai bobot kering maksimal (matang fisiologis) (House 1985). Di dalam biji, endosperm berkembang lebih cepat daripada embrio (Kladnik *et al.* 2006). Fase pembentukan dan pemasakan biji berlangsung dalam tiga tahap pertumbuhan.

### **1. Tahap 7, biji masak susu**

Fase masak susu terjadi pada saat akumulasi pati mulai terbentuk dalam biji, semula pati berbentuk cairan, kemudian berubah seperti susu, sehingga sering disebut sebagai masak susu, dan dapat dengan mudah dipencet dengan jari. Fase ini terjadi pada saat tanaman berumur sekitar 70 HSB. Pengisian biji terjadi dengan cepat, hampir setengah dari bobot kering terakumulasi dalam periode ini. Bobot batang mengalami penurunan seiring dengan pengisian biji, sekitar 10% dari bobot biji berasal dari pengurangan bobot batang (Vanderlip 1993).

Serapan hara nitrogen dan fosfor masih cepat dan serapan kalium mulai menurun. Daun terbawah mulai mengering dengan meninggalkan 8-12 daun fungsional selama tahap 7 berlangsung. Hasil biji bergantung pada laju akumulasi bahan kering pada biji dan lamanya fase akumulasi. Laju akumulasi bahan kering antarvarietas tidak terlalu beragam (Vanderlip and Reeves 1972, Vanderlip 1993, Rao *et al.* 2004).

### **2. Tahap 8, pengerasan biji**

Tahap pengerasan biji berlangsung pada saat tanaman berumur sekitar 85 HSB. Umumnya biji pada tahap ini sudah tidak dapat ditekan dengan jari karena sekitar tiga-perempat dari bobot kering biji telah terakumulasi. Bobot batang menurun hingga bobot terendah. Seluruh biji sudah terbentuk secara sempurna, embrio sudah masak, akumulasi bahan kering biji akan terhenti, dan serapan hara sudah berhenti. Sebagian daun mulai mengering. Kelembaban yang tinggi menurunkan bobot biji atau biji hampa (Vanderlip and Reeves 1972, Vanderlip 1993, Rao *et al.* 2004).

### **3. Tahap 9, biji matang fisiologis**

Tahap pematangan biji berlangsung pada saat tanaman berumur sekitar 95 HSB atau bergantung varietasnya. Pada tahap ini tanaman telah mencapai bobot kering maksimum, begitu pula biji pada malai dengan kadar air 25-30%. Dalam proses menuju matang fisiologis, kadar air biji turun antara 10-15% selama 20-25 hari, yang mengakibatkan biji kehilangan 10% dari bobot keringnya. Biji yang matang fisiologis ditandai oleh lapisan pati yang keras pada biji berkembang sempurna dan telah terbentuk lapisan absisi berwarna gelap, yang disebut dengan *black layer*, pada sisi sebelah luar embrio (House 1985, Vanderlip 1993).

Setelah matang fisiologis, daun akan kering dan mati, atau beberapa daun akan tetap berwarna hijau (*stay green*). Jika kondisi suhu dan kelembaban menguntungkan, cabang mulai tumbuh dari beberapa mata tunas pada ruas batang, terutama pada ruas bagian atas. Bobot batang

akan sedikit naik pada saat mendekati matang fisiologis. Serapan hara NPK oleh tanaman telah mencapai masing-masing 100% (Vanderlip and Reeves 1972, Vanderlip 1993).

Biji yang telah matang fisiologis dapat dipanen, namun untuk mendapatkan hasil biji yang maksimum, sebaiknya tanaman dipanen setelah masak fisiologis. Kadar air saat panen sangat bergantung pada cuaca saat panen. Cuaca yang kurang tepat dapat menurunkan kualitas biji yang dipanen. Biji yang dipanen pada kadar air lebih dari 12% harus dikeringkan terlebih dahulu sebelum disimpan (Vanderlip and Reeves 1972, Vanderlip 1993, Rao *et al.* 2004).



## DAFTAR PUSTAKA

- Artschwager, E. 1948. Anatomy and morphology of the vegetative organs of sorghum vulgare. United States Department of Agriculture. Thechnical Bulletin 975. Pp 55.
- Balole, T.V. and G.M. Legwaila. 2006. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. [Internet] Record from PROTA4U. Brink, M. & Belay, G. (Eds). PROTA (Plant resources of tropical Africa/Ressources végétales de l’Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands. <<http://www.prota4u.org/search.asp>>. Accessed 26 August 2013.
- Bello, D. 2008. Effect of pollination time on seed set in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Yola, Nigeria. Research Journal of Agronomy 2(3): 87-89.
- Bullard, R.W. and J.O York. 1985. Breeding for bird resistance in sorghum and maize. In Russell, G.E (Eds.). Plant breeding progress reviews. Butterworth, Surrey (1):193-222.
- Dicko, M.H., H. Gruppen, A.S. Traoré, W.J.H van Berkel, and A.G.J Voragen. 2005. Evaluation of the effect of germination on content of phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. J. Agric. Food Chem. 53:2581-2588.
- Dicko, M.H., H. Gruppen, A.S. Traoré, W.J.H van Berkel, and A.G.J Voragen. 2006. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. African Journal of Biotechnology 5 (5): 384-395.
- du Plessis, J. 2008. Sorghum production. Republic of South Africa Department of Agriculture. [www.nda.agric.za/publications](http://www.nda.agric.za/publications).

- Earp, C.F., C.M. McDonough, and L.W. Rooney. 2004. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Journal of Cereal Science* 39: 21–27.
- FAO. 2002. Sweet Sorghum in China. Spotlight 2000.
- Freeman, J.E. 1970. Development and structure of the sorghum plant and its fruit. *In* Joseph S. Wall dan William M. Ross (Eds.) *Sorghum production and utilization: major feed and food crops in agriculture and food series*. The Avi Publishing Company, Connecticut. Pp. 28-72.
- Gardner, B.R., B.L. Blad, R.E. Maurer, and D.G. Watt. 1981. Relationship between crop temperature and physiological and phenological development of differentially irrigated corn. *Agron. J.* 73: 743-747.
- Gerik, T., B. Bean, and R.L. Vanderlip. 2003. Sorghum growth and development. Texas Cooperative Extension Service.
- Hahn, D.H. and L.W. Rooney. 1986. Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum. *Cereal Chem.* 63(1):4-8.
- Harlan, J.R. and de Wet. 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science* 12 (2):172-176.
- Hoeman, S. 2012. Prospek dan potensi sorgum sebagai bahan baku bioetanol. Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) dan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Jakarta Selatan.
- House, L.R. 1985. A guide to sorghum breeding. 2ndEd. International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT). India. 206 p.
- Hunter, E.L. and I.C. Anderson. 1997. Sweet sorghum. *In* J. Janick (Eds.) *Horticultural reviews*. Vol. 21 Department of Agronomy Iowa State University. John Willey & Sons, Inc. pp 73-104.
- IBPGR and ICRISAT. 1993. Descriptors for sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Rome, Italy: International Bureau of Plant Genetic Resources; and Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics. 76 pp.
- Kladnik, A., P.S. Chourey, D.R. Pring, and M. Dermastia. 2006. Development of the endosperm of *Sorghum bicolor* during the endoreduplication-associated growth phase. *Journal of Cereal Science* 43:209-215.
- Lansac, A.R., C.Y. Sullivan, B.E. Johnson, and K.W. Lee. 1994. Viability and germination of the pollen of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Annals of Botany* 74: 27-33.
- Magness, J.R., G.M. Markle, and C.C. Compton. 1971. Grain sorghum, gramineae, *sorghum bicolor* (L.) Moench. Food and feed crops of the United States. Interregional Research Project IR-4, IR Bul.1. New Jersey Agricultural Experiment Station.



- Martin, J. H. 1970. History and classification of sorghum. *In* J.S. Wall and W.M. Ross (Eds.). Sorghum production and utilization. The Avi Publishing Co. Inc. Westport Connecticut. 702 p.
- Mudjisihono dan Suprpto. 1987. Budidaya dan pengolahan sorgum. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Pedersen, J.F., H.F. Kaeppler, D.J. Andrews, and R.D. Lee. 1998. Chapter 14. Sorghum *In* Banga S.S and S.K Banga (Eds.) Hybrid cultivar development. Springer-Verlag. India. p. 432-354.
- Pendleton, B.B., G.L. Teetes, and G.C. Peterson. 1994. Phenology of sorghum flowering. *Crop Science* 34(5):1263-1266.
- Prasad, P.V.V. dan S.A. Staggenborg. 2013. Growth and production of sorghum and millets. Soils, Plant Growth and Crop Production, Vol. 2. Departement of Agronomy Kansas State University. [www.eolss.net/Eolss-sampleAllChapter.aspx](http://www.eolss.net/Eolss-sampleAllChapter.aspx)
- PPV and FRA (Protection of Plant Varieties and Farmer's Rights Authority). 2007. Plant variety journal of India 1(1).
- Rao, S.S., N. Seetharama, K. Kumar K., and R.L. Vanderlip. 2004. Characterization of sorghum growth stages. National Research Center for Sorghum. Rajendragar Hyderabad India (Describes Growth Stages and Management Guide at each Stages of Sorghum Development).
- Rismunandar. 2006. Sorgum tanaman serba guna. Sinar Baru. Bandung. 71 p.
- Shoemaker, C.E. and D.I. Bransby. 2010. Chapter 9: the role of sorghum as a bioenergy feedstock *in* R. Braun, D. Karlen and D. Johnson (Eds.) Proceeding of the Sustainable Feedstocks for Advance Biofuels Workshop: Sustainable alternative fuel feedstock opportunities, challenges, and roadmaps for six U.S. regions. Pp 149-160.
- Singh, F., K.N. Rai, B.V.S Reddy, and B. Diwakar. 1997. Development of cultivars and seed production techniques in sorghum and pearl millet. Training manual. Training and Fellowships Program and Genetic Enhancement Division, ICRISAT Asia Center, India. Patancheru 502-324, Andhra Pradesh. International Crops Research Institute for the Semi -Arid Tropics. India. 118 pp. (Semi - formal publication).
- Sitompul, S.M. dan B. Guritno. 1995. Analisis pertumbuhan tanaman. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Stephens, J.C. 1934. Anthesis, pollination, and fertilization in sorghum. *Journal of Agricultural Research* 49 (2):123-136.
- Sundara, K.D. and P. Marimuthu. 2012. Sweet sorghum stalk-an alternate agro based raw material for paper making. *IPPTA* 24(3):47-50.

- 
- 
- Vanderlip, R.L. and H.E. Reeves. 1972. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Agr. J.* 64(1):13-16.
- Vanderlip, R.L. 1993. How a grain sorghum plant develops. Kansas State University.
- Waniska, R.D. 2000. Structure, phenolic compounds, and antifungal protein of sorghum caryopsis. *In* A. Chandrashekar, R. Bandyopadhyay, and A.J. Hall (eds.). Technical and institutional options for sorghum grain mold management: proceedings of an international consultation, 18-19 May 2000, ICRISAT, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics. Pp 72-106.
- Yulita, R. dan Risda. 2006. Pengembangan sorgum di Indonesia. Direktorat Budi daya Serealia. Ditjen Tanaman Pangan, Jakarta.