

Pertumbuhan dan Perkembangbiakan pada Tumbuhan

Pada kegiatan belajar ini, Anda akan mempelajari pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan. Pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan merupakan suatu proses yang berlangsung secara bersinambungan. Proses perkembangan berkaitan erat dengan pertumbuhan. Bagaimana proses pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan? Apakah proses pertumbuhan selalu mendahului perkembangan? Untuk mengetahui jawaban pertanyaan-pertanyaan tersebut, kita pelajari uraian kegiatan belajar ini.

A. Pertumbuhan pada Tumbuhan

Pertumbuhan merupakan suatu ciri fundamental dari seluruh makhluk hidup. Pertumbuhan sering diartikan secara sederhana sebagai suatu pertambahan ukuran, tetapi harus hati-hati dalam menggunakan definisi yang kurang lengkap ini. Sebagai contoh, ukuran sel tumbuhan mungkin menjadi lebih besar pada saat menyerap air melalui osmosis, tetapi proses ini kemungkinan akan kembali ke ukuran asal dan oleh karenanya tidak bisa diartikan sebagai pertumbuhan yang sebenarnya. Juga, selama pembelahan zigot dan embrio awal, dalam hal ini peningkatan jumlah sel tanpa peningkatan dalam ukuran (volume atau massa). Disini hasilnya pembelahan sel tanpa diikuti oleh peningkatan ukuran sel turunan. Proses ini merupakan suatu perkembangan di satu sisi dan mungkin hal ini dapat dipandang sebagai pertumbuhan meskipun fakta bahwa tidak terjadi peningkatan ukuran selnya.

Phrase pertumbuhan dan perkembangan biasanya digunakan untuk menjelaskan proses-proses yang diartikan secara umum sebagai pertumbuhan. Berawal dari satu individu sel, pertumbuhan organisme multiseluler dapat dibagi menjadi 3 fase :

- 1) pembelahan sel (hyperplasia), suatu peningkatan jumlah sel sebagai suatu hasil pembelahan mitosis dan pembelahan sel,
- 2) ekspansi sel (hypertrophy), suatu peningkatan ukuran sel yang irreversible sebagai hasil dari pengambilan air atau sintesis dalam protoplasma.
- 3) diferensiasi sel, spesialisasi sel, dalam pengertian disini tumbuh juga mencakup berkembang.

Setiap proses tersebut dapat terjadi pada waktu tertentu yang terpisah. Contohnya, pembelahan yang sudah disebutkan di atas. Suatu peningkatan dalam volume tanpa perubahan jumlah sel mungkin juga terjadi, seperti pada daerah dari sel yang mengalami pemanjangan pada ujung akar dan ujung batang pada tumbuhan tinggi. Dalam kasus organisme bersel tunggal seperti bakteri, pembelahan sel berkaitan dengan reproduksi (bukan pertumbuhan dari individu tapi pertumbuhan dari populasi).

Seluruh tahapan pertumbuhan mencakup aktivitas biokimiawi. Sintesis protein merupakan bagian penting, karena hal ini berarti pesan-pesan dari DNA diekspresikan dalam sintesis enzim oleh sel. Enzim-enzim mengontrol aktivitas sel. Perubahan-perubahan pada tingkat sel membawa perubahan dalam keseluruhan bentuk dan struktur, baik pada tingkat organ-organ tersendiri maupun organisme secara keseluruhan, dan proses ini dikenal sebagai morfogenesis.

Definisi pertumbuhan sebaiknya memenuhi kriteria peningkatan dalam ukuran yang terjadi pada seluruh organisme bersel tunggal sampai hewan dan tumbuhan tingkat tinggi, yang mencerminkan aktivitas metabolisme berasosiasi dengan pertumbuhan. Pertumbuhan dapat didefinisikan sebagai suatu peningkatan dalam berat kering protoplasma yang irreversible. Pada pengertian disini mencerminkan suatu peningkatan dalam jumlah protein yang sudah disintesis, dan fakta bahwa proses sintesis protein membentuk dasar pertumbuhan.

Pertumbuhan bisa positif atau negatif. Pertumbuhan positif terjadi bila anabolisme melebihi katabolisme, sedangkan pertumbuhan negatif terjadi bila katabolisme melebihi anabolisme. Sebagai contoh, dalam peristiwa perkecambahan biji dan produksi semaian berdasarkan variasi parameter fisik, besarnya meningkat, seperti jumlah sel, ukuran sel, berat basah, panjang, volume dan kompleksitas bentuk, tetapi pada sisi lain seperti berat kering secara aktual menurun. Dari definisi, perkecambahan dalam kasus ini adalah contoh yang tepat saat pertumbuhan negatif.

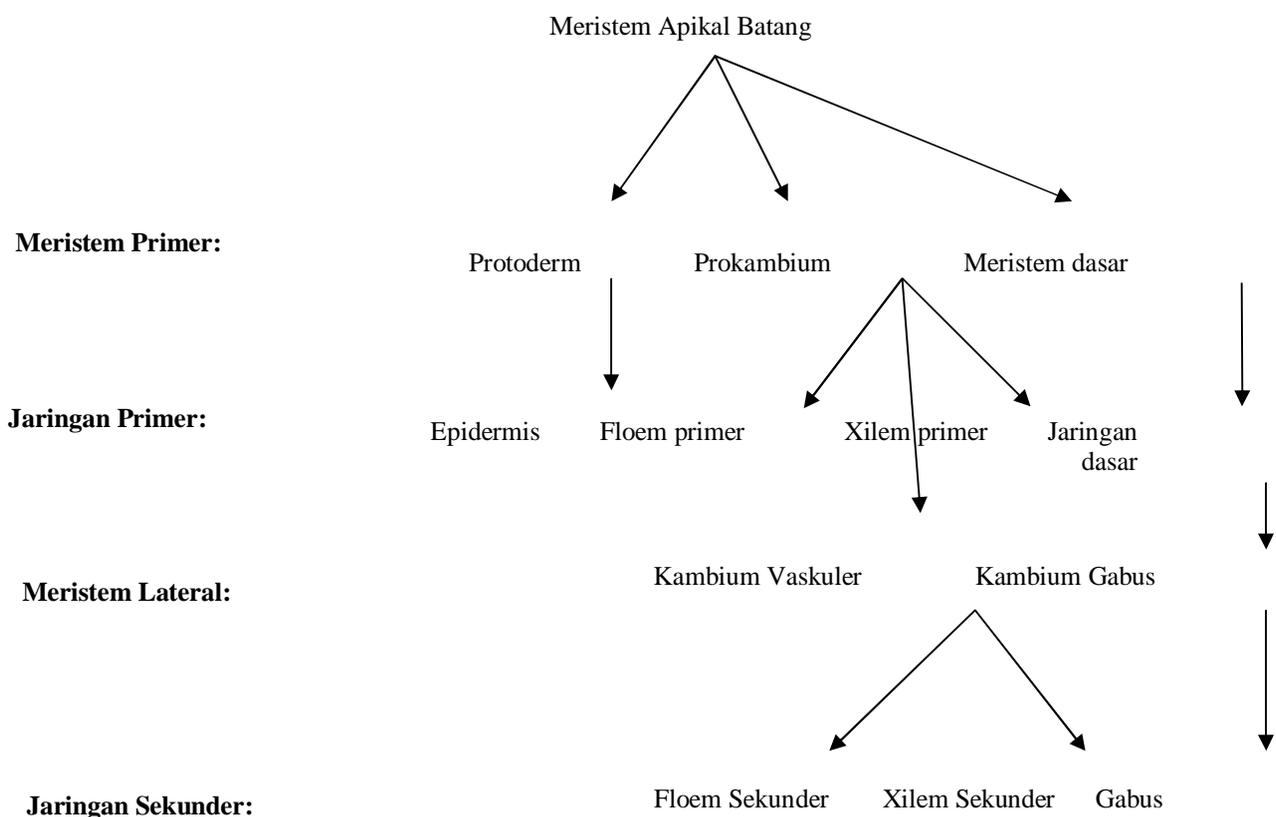
Berbeda dengan sebagian besar hewan yang memiliki pertumbuhan terbatas, sebagian besar tumbuhan terus tumbuh selama mereka masih hidup, suatu keadaan yang dikenal sebagai pertumbuhan tidak terbatas. Walaupun demikian untuk organ tumbuhan tertentu, seperti daun dan bunga, memperlihatkan pertumbuhan yang terbatas.

Selama tumbuhan masih mampu untuk bertahan hidup, tumbuhan dapat tumbuh tidak terbatas karena tumbuhan memiliki jaringan embrionik yang selalu tersedia, yang disebut meristem, pada daerah pertumbuhan. Sel-sel meristematis terus membelah menghasilkan sel-sel baru. Beberapa produk pembelahan ini tetap berada pada daerah meristematis untuk menghasilkan lebih banyak lagi sel. Sementara yang lain menjadi terspesialisasi dan digabungkan ke dalam jaringan dan organ tumbuhan yang sedang tumbuh. Sel-sel yang tetap berfungsi untuk menghasilkan sel-sel baru di dalam meristem disebut sel-sel inisial atau permulaan. Sel-sel baru yang digantikan dari meristem, yang disebut derivatif atau turunan, terus membelah selama beberapa saat, sampai sel-sel yang mereka hasilkan mulai mengalami spesialisasi di dalam jaringan yang sedang berkembang.

Pola pertumbuhan tumbuhan bergantung pada letak meristem. Meristem apikal, berada pada ujung akar dan pada pucuk tunas, menghasilkan sel-sel bagi tumbuhan untuk tumbuh memanjang. Pemanjangan ini disebut pertumbuhan primer, memungkinkan akar membuat jalinan di dalam tanah dan tunas untuk meningkatkan pemaparannya terhadap

cahaya matahari dan karbon dioksida. Pertumbuhan primer menghasilkan apa yang disebut tubuh primer tumbuhan, yang terdiri dari tiga sistem jaringan: jaringan dermal, jaringan pembuluh, dan jaringan dasar. Pada herba (bukan tumbuhan berkayu), yang terjadi hanya pertumbuhan primer. Namun demikian, pada tumbuhan berkayu terdapat juga pertumbuhan sekunder, yaitu adanya aktivitas penebalan secara progresif pada akar dan tunas yang terbentuk sebelumnya oleh pertumbuhan primer. Pertumbuhan sekunder adalah produk meristem lateral, kambium pembuluh dan kambium gabus, berupa silinder-silinder yang terbentuk dari sel-sel yang membelah ke samping di sepanjang akar dan tunas. Kambium gabus, menggantikan epidermis dengan jaringan dermis sekunder, seperti kulit yang lebih tebal dan keras. Sedangkan kambium pembuluh, menambahkan lapisan jaringan pembuluh, seperti xilem sekunder yang terakumulasi selama bertahun-tahun.

Pada tumbuhan berkayu (Gymnospermae dan Angiospermae hanya Dikotil), pertumbuhan primer dan sekunder terjadi pada waktu yang bersamaan akan tetapi pada lokasi yang berbeda. Pertumbuhan primer dibatasi pada bagian termuda, ujung akar dan tunas, dimana terletak meristem apikal. Meristem lateral berkembang di daerah yang sedikit lebih tua pada akar atau tunas yang agak jauh dari ujung. Pada tempat tersebut terjadi pertumbuhan sekunder untuk menambah diameter organ. Bagian tertua dari akar dan tunas, misalnya pangkal cabang pohon, memiliki akumulasi jaringan sekunder yang paling besar yang dibentuk oleh meristem lateral. Setiap musim tumbuh, pertumbuhan primer menghasilkan perbesaran bagian muda pada akar dan tunas, sementara pertumbuhan sekunder menebalkan dan menguatkan bagian yang lebih tua tumbuhan tersebut. Proses pertumbuhan primer dan sekunder pada tumbuhan tidaklah sesederhana seperti uraian di atas. Pertumbuhan pada setiap organ tumbuhan memiliki karakteristik tersendiri. Untuk memahami secara mendalam Anda dapat mempelajari lebih jauh pada buku sumber yang ada (lihat daftar pustaka). Secara ringkas sebagai contoh pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder pada batang tumbuhan berkayu dibagankan seperti di bawah ini.



Gambar 7.1 Ringkasan pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder pada batang berkayu (Campbell *et al.*, 1999)

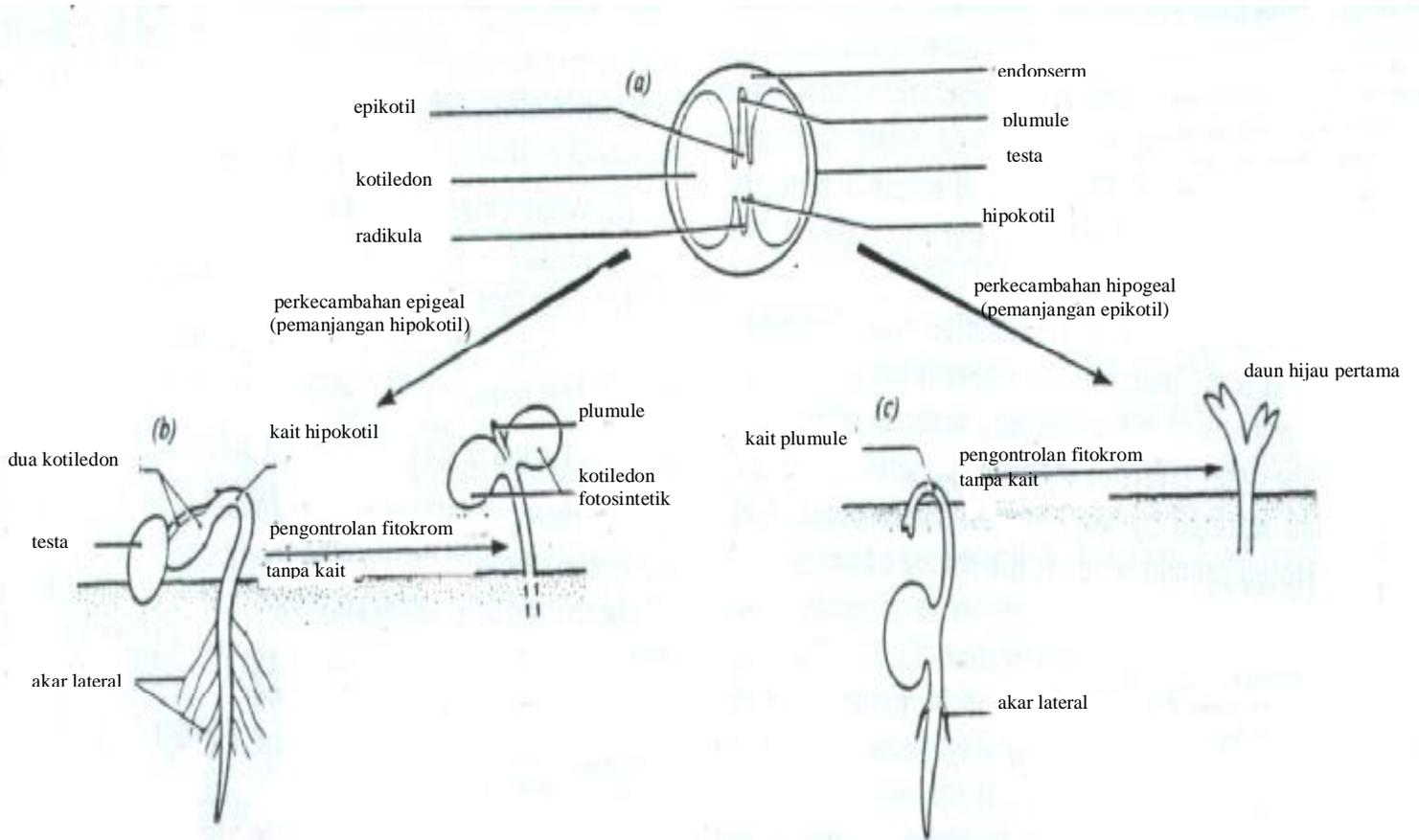
Pertumbuhan dalam embrio terjadi melalui pembelahan sel, pemanjangan, dan diferensiasi. Jumlah protein, selulosa, asam nukleat dan sebagainya terus meningkat di daerah pertumbuhan, sementara berat kering cadangan makanan menurun. Ciri pertama yang dapat dilihat dari pertumbuhan adalah munculnya akar embrio yang disebut radikula. Radikula bersifat geotropisme positif dan akan tumbuh ke bawah dan menjadi jangkar embrio. Berikutnya, batang embrio yang disebut plumule, muncul dan bersifat geotropisme negatif (dan bersifat fototropisme positif jika di atas tanah) akan tumbuh ke atas.

Ada dua tipe perkecambahan mengacu pada ada tidaknya kotiledon yang tumbuh di atas tanah atau tetap di dalam tanah. Pada kotiledon, jika pada bagian aksis batang atau internodus, hanya hipokotil (kotiledon bawah) yang memanjang, kemudian kotiledon diangkat ke atas tanah. Perkecambahan seperti ini disebut perkecambahan epigeal. Jika internodus di bagian atas kotiledon (epikotil yang memanjang) kemudian kotiledon tetap tinggal di dalam tanah. Perkecambahan seperti ini disebut perkecambahan hipogeal.

Pada perkecambahan epigeal, hanya bagian kait pada hipokotil yang tumbuh menembus tanah, sehingga bagian plumule yang halus tidak terkena tanah dan dilindungi oleh kotiledon yang tertutup. Pada perkecambahan hipogeal, epikotil membentuk kait, kembali melindungi ujung plumule. Pada dua kasus, struktur kait segera lurus terhadap pendedahan cahaya, respon ini dikontrol oleh fitokrom.

Pada rumput, yang termasuk monokotiledon, plumule dilindungi oleh sebuah pelepah yang disebut koleoptil yang bersifat fototropisme positif dan geotropisme negatif. Daun

pertama tumbuh melalui koleoptil dan membuka gulungannya sebagai respon terhadap cahaya. Pada saat muncul terkena cahaya sejumlah respon yang dikontrol fitokrom terjadi dengan cepat, secara kolektif dikenal sebagai fotomorfogenesis. Proses ini secara keseluruhan berpengaruh terhadap suatu perubahan dari etiolasi ke pertumbuhan normal.



Gambar 7.2. Struktur biji dikotil (a), perkecambahan epigeal (b), dan perkecambahan hipogeal (c) (Green *et al.*, 1986)

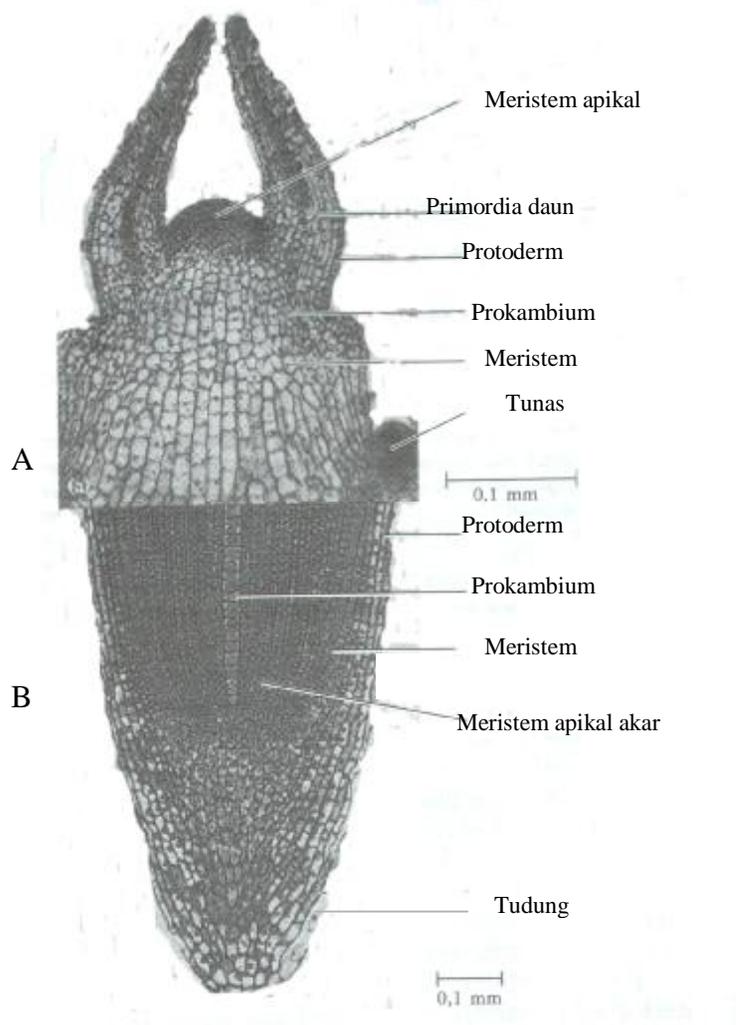
B. Perkembangan pada Tumbuhan

Perkembangan adalah penjumlahan seluruh perubahan secara progresif merincikan tubuh organisme. Zigot tumbuhan adalah sebuah sel tunggal yang tidak memiliki kemiripan apapun dengan organisme yang akan dibentuknya nanti. Tiga proses perkembangan yang saling tumpang tindih merubah sel telur yang dibuahi itu menjadi sebuah tumbuhan: pertumbuhan, morfogenesis, dan diferensiasi seluler.

Pertumbuhan, suatu peningkatan ukuran yang prosesnya tidak dapat dibalik, dihasilkan dari pembelahan sel dan pembesaran sel. Melalui suatu rangkaian pembelahan mitosis, zigot akan menjadi embrio multiseluler di dalam sebuah biji. Setelah perkecambahan, mitosis akan dimulai, yang sebagian besar terpusat pada meristem apikal dekat dengan ujung akar dan ujung tunas. Akan tetapi pembesaran sel-sel yang baru dibuat inilah yang bertanggung jawab terhadap peningkatan ukuran sesungguhnya dari suatu tumbuhan.

Jika perkembangan hanya sekedar masalah pertumbuhan, maka zigot akan menjadi sebuah bola sel yang mengembang. Pada kenyataannya, pertumbuhan disertai dengan morfogenesis, yaitu perkembangan bentuk. Dalam proses ini dihasilkan sel-sel, jaringan-jaringan, dan organ-organ, yang memberi struktur dan bentuk organisme dewasa. Embrio yang terbungkus dalam biji memiliki kotiledon dan akar, serta tunas rudimenter, yaitu produk mekanisme morfogenetik yang mulai beroperasi dengan pembelahan pertama zigot. Setelah benih berkecambah, morfogenesis terus membentuk sistem akar dan tunas tumbuhan yang sedang tumbuh. Sebagai contoh, morfogenesis pada ujung tunas akan memantapkan bentuk daun dan sifat morfologis lainnya (Gambar 7.3).

Perbedaan mendasar antara tumbuhan dan hewan tercermin dalam morfogenesisnya. Sebagian hewan *bergerak* melalui lingkungannya; tumbuhan, sebaliknya, *tumbuh* melalui lingkungannya. Pertumbuhan tumbuhan yang tanpa batas, merupakan fungsi dari bagian tumbuhan yang berada di daerah ujung tunas dan ujung akar yang tetap bersifat embrionik selama kehidupan tumbuhan tersebut. Daerah ini bukan saja merupakan pusat untuk pertumbuhan berkelanjutan, tetapi juga untuk morfogenesis berkelanjutan.



Gambar 7.3 Morfogenesis pada tumbuhan merupakan salah satu tahapan dari perkembangan tumbuhan. Untuk mengatur tubuh tumbuhan primer, pusat morfogenesis yang sedang terjadi berada pada ujung tumbuhan itu, yaitu pada daerah meristem apikal (A) tunas dan (B) akar (Campbell *et al.*, 1999)

Bentuk saja, tentunya, tidak memungkinkan suatu organ tumbuhan melaksanakan fungsinya. Masing-masing organ seperti misalnya daun, memiliki suatu keragaman jenis sel yang dikhususkan untuk fungsi tertentu dan ditempatkan dilokasi tertentu. Sebagai contoh, sel pelindung yang membatasi stomata sangat berbeda struktur dan fungsinya dari sel-sel di sekitarnya pada epidermis. Contoh lain adalah perkembangan xilem dan floem dari kambium pembuluh selama pertumbuhan sekunder. Perolehan ciri struktur dan fungsi sel yang spesifik ini disebut diferensiasi sel.

Sangat luar biasa bahwa sel-sel yang begitu beragam seperti sel pelindung, anggota pembuluh tapis, dan pembuluh xilem yang semuanya berasal dari satu sel yang sama, yaitu

zigot. Diferensiasi seperti itu akan tersu berlangsung sepanjang hidup tumbuhan, begitu juga meristem yang mempertahankan pertumbuhan tak terbatas.

Diferensiasi menunjukkan sintesis protein yang berbeda pada jenis sel yang berbeda. Sebagai contoh, suatu sel xilem yang sedang berkembang membuat enzim yang menghasilkan lignin, yang mengeraskan dinding sel. Sebaliknya, sel pelindung tidak membuat enzim untuk sintesis lignin dan memiliki dinding yang lentur. Perbedaan dalam produksi enzim ini memberikan sumbangan pada perbedaan struktur yang berhubungan dengan fungsi yang berlainan pada kedua jenis sel ini. Pembuluh xilem berfungsi sebagai penyokong (dan juga dalam transpor), dan dinding selnya yang keras cocok dengan fungsi ini. Sel pelindung, sebaliknya, mengontrol ukuran stomata dengan cara menubah bentuknya, suatu fungsi yang memerlukan dinding yang lentur. Dalam tahap akhir diferensiasi, suatu sel xilem akan melepaskan enzim hidrolitik yang merusak protoplas, dan meninggalkan dinding selnya. Tidak ada tahapan metabolik seperti itu pada yang terjadi selama diferensiasi sel pelindung.

Apa yang membuat diferensiasi sedemikian menarik adalah bahwa sel-sel sautu organisme yang sedang berkembang mensintesis protein yang berbeda dan memiliki struktur dan fungsi yang berlainan meskipun mereka memiliki kumpulan gen yang sama. Pengklonan keseluruhan tumbuhan secara utuh dari sel somatik mendukung kesimpulan bahwa gen-gen sel yang sedang berdiferensiasi tetap utuh. Jika suatu sel dewasa dikeluarkan dari akar atau daun dapat dibuat mengalami diferensiasi dalam biakan jaringan dan menjadi berbagai jenis sel tumbuhan, maka sel tersebut harus memiliki semua gen yang diperlukan untuk membuat berbagai jenis sel ini. Hal ini berarti bahwa diferensiasi seluler bergantung, sampai pada keadaan tertentu, pada kontrol ekspresi gen yang berperan penting dalam pengaturan transkripsi dan translasi yang mengarah pada produksi protein spesifik. Sel-sel yang memiliki gen-gen yang sama akan mengikuti jalur perkembangan yang berbeda karena mereka secara selektif mengekspresikan gen tertentu pada waktu tertentu selama diferensiasinya. Suatu sel pelindung memiliki gen yang memprogram penghancuran diri sendiri untuk suatu protoplas xilem, akan tetapi ia tidak akan mengekspresikan gen tersebut. Suatu unsur pembuluh xilem memang mengekspresikannya, akan tetapi hanya pada waktu tertentu pada diferensiasinya, setelah sel itu memanjang dan menghasilkan dinding sekundernya. Para peneliti mulai mengetahui mekanisme molekuler yang menghidupkan atau mematikan gen tertentu pada waktu yang kritis dalam perkembangan sel. Dari uraian yang panjang di atas, jelaslah bahwa diferensiasi sel bergantung pada kontrol ekspresi gen yang berinteraksi baik langsung maupun tidak langsung dengan lingkungannya.