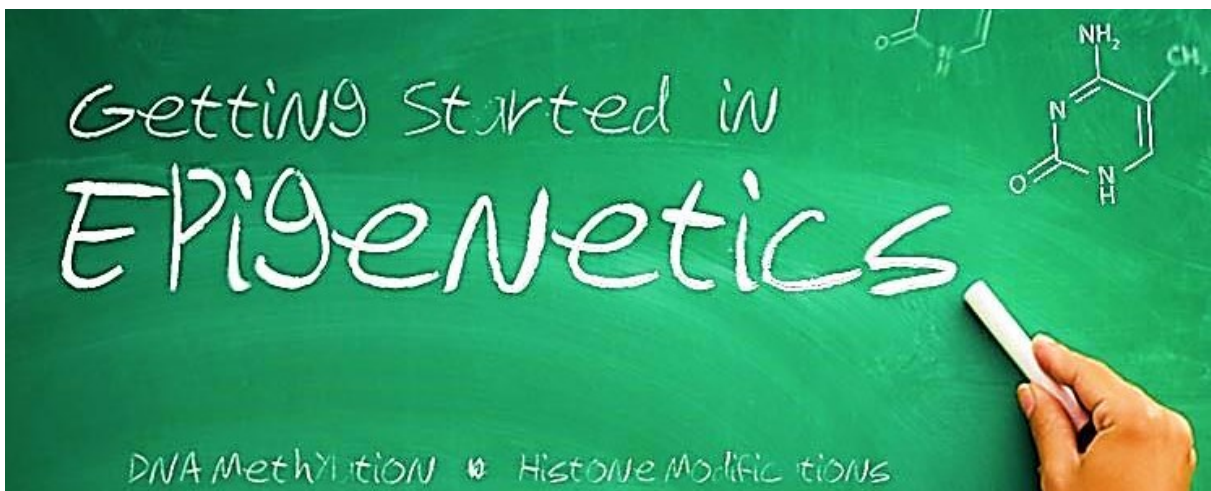


Epigenetik “menjawab” cekaman lingkungan sebagai respon adaptatif tanaman

Konsep epigenetik yang mengacu pada perubahan yang diwariskan dalam pola ekspresi gen yang terjadi tanpa adanya perubahan dalam urutan basa DNA. Epigenetik melibatkan dua mekanisme penting yaitu metilasi DNA dan modifikasi histon. Fungsi epigenetik dibuktikan saat tanaman tercekam kondisi lingkungan yang tidak ideal atau saat tanaman mendapatkan stimulus eksternal. Kedua kondisi tersebut dapat dikendalikan oleh transposon dan diturunkan pada generasi tanaman selanjutnya sebagai bentuk respon adaptatif tanaman.

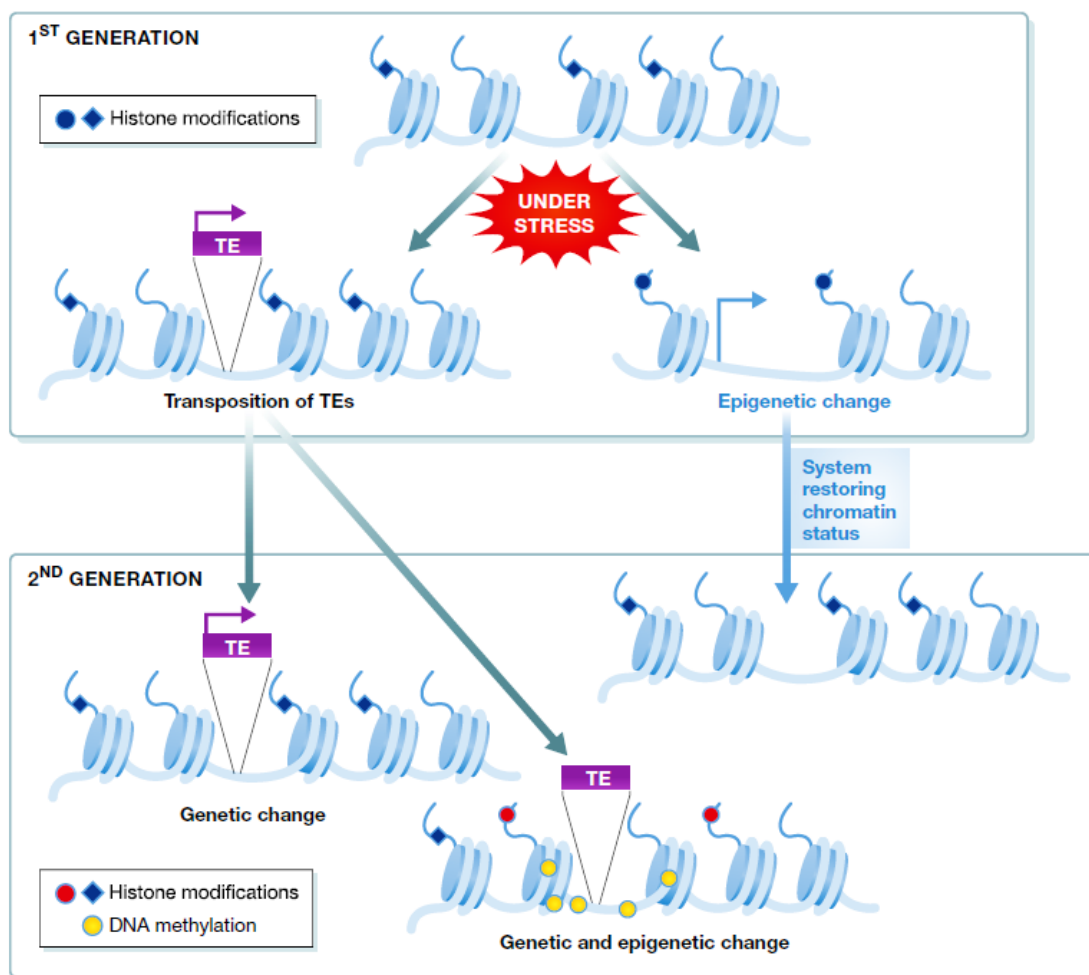


Ilustrasi epigenetik dengan dua mekanisme utama yang telah diketahui yaitu metilasi DNA dan modifikasi protein histon. Sumber gambar: <https://www.epigentek.com>.

Pada tahun 1942, Conrad Hal Waddington, seorang peneliti dalam bidang biologi perkembangan menciptakan istilah “**epigenetik**” yang menggabungkan dua kata yaitu “**epigenesis**” dan “**genetika**” [1]. Beliau mendefinisikan epigenetik sebagai cabang ilmu biologi yang mempelajari interaksi kausal antara gen dan produknya, yang membawa fenotip. Beliau juga menekankan konsep epigenetik yang mengacu pada perubahan yang diwariskan dalam pola ekspresi gen yang terjadi tanpa adanya perubahan dalam urutan basa DNA. Mekanisme epigenetik melibatkan modifikasi kovalen DNA dan protein histon yang akhirnya mempengaruhi aktivitas transkripsi kromatin [2].

Pada tanaman, para peneliti telah bekerja selama puluhan tahun berusaha untuk mempelajari mekanisme molekuler yang mendasari paramutasi, *gene imprinting*, pengaturan transposon, hingga *silencing* lokus transgenik yang akhirnya membawa kepada penemuan regulasi epigenetik yang ternyata diturunkan kepada generasi berikutnya [2]. Telah banyak diketahui sebelumnya bahwa dikarenakan kondisi kromatin dapat diperbanyak melalui mekanisme mitosis dan meiosis, epigenetik memberikan “memori seluler” yang diwariskan [2]. Mekanisme pembungaan setelah musim dingin di negara empat musim merupakan salah satu contoh memori seluler yang disebabkan oleh epigenetik. Proses pembungaan tersebut melibatkan remodelisasi kromatin yang menyebabkan ekspresi gen *Flowering Locus C* (FLC) tertekan. Dikarenakan gen FLC merupakan regulator negatif dari pembungaan, maka represi tersebut menyebabkan pembungaan terjadi [3]. Proses tersebut berulang-ulang terjadi setiap musim dingin dan semi sehingga generasi anakan dari tanaman tersebut dapat melakukan proses yang sama.

Lebih jauh lagi, fungsi epigenetik sesungguhnya dibuktikan saat tanaman tercekam kondisi lingkungan yang tidak ideal atau saat tanaman mendapatkan stimulus eksternal (perlakuan, pupuk, penambahan zat hara, dan sebagainya) [4]. Adalah Barbara McClintock yang pertama mengamati bahwa cekaman lingkungan mengaktifkan elemen berpindah (*transposable elements, TEs*) atau yang dikenal sebagai transposon pada tanaman jagung [5]. Beberapa tahun kemudian, beberapa riset menemukan berbagai jenis transposon yang diinduksi oleh cekaman abiotik dan biotik. Retroelemen tipe LTR seperti Tnt1 dan Tto1 pada tembakau diinduksi oleh perlukaan atau serangan patogen [6]. Retroelemen tipe LTR Bs1 pada tanaman jagung, berpindah setelah serangan infeksi virus [7]. Kemudian, retroelemen tipe LTR lain bernama ONSEN di tanaman *Arabidopsis* mempengaruhi ekspresi gen target yang terpapar cekaman panas. ONSEN berpindah pada tanaman mutan dimana gen target mengalami *silencing* [8].



Ilustrasi respon terhadap cekaman lingkungan dengan sistem elemen berpindah atau transposable elements (TEs) pada tanaman [2].

Mekanisme yang digambarkan saat tanaman beradaptasi terhadap cekaman lingkungan meliputi dua tahap. Pada tanaman generasi pertama, cekaman lingkungan akan menginduksi aktifnya elemen berpindah yang menyebabkan perubahan pada tingkat genetik. Sebagian perubahan epigenetik yang terjadi akan direstorasi oleh sel sehingga kromatin tidak mengalami mutasi. Namun, sebagian dari perubahan genetik akan dilengkapi dengan perubahan epigenetik berupa metilasi DNA sehingga perubahan respon terhadap cekaman

lingkungan akan terjadi pada tanaman generasi kedua [2]. Secara sederhana, mekanisme tersebut dapat diilustrasikan dengan sistem pertahanan tanaman rumput. Saat tanaman rumput terinjak, tanaman generasi pertama akan memberikan respon pertahanan diri secara genetik melalui pengaktifan elemen berpindah terkait. Perubahan tersebut disimpan sebagai materi epigenetik dan diturunkan pada tanaman generasi kedua dengan memproduksi kutikula dan menebalkan dinding sel sehingga tidak rentan terhadap tekanan mekanis (seperti diinjak).

Baru-baru ini, pada tanaman perkebunan seperti kelapa sawit, keberadaan sebuah elemen berpindah retrotransposon tipe LINE bernama Karma menentukan *fruit set* yang normal atau tidak. Retrotransposon tersebut menyisip pada daerah intron sebuah gen bernama *DEFICIENS* yang menentukan ekspresi buah mantel pada tanaman sawit. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa metilasi tinggi di daerah Karma akan menentukan buah normal sementara metilasi rendah akan membawa transformasi homeotik yang berakibat buah tidak normal [9]. Di sisi lain, pada tanaman karet, sejumlah transposon intragenik yang berperan dalam proses metabolisme isoprenoid telah ditemukan. Sebagaimana kita tahu bahwa jalur isoprenoid akan menghasilkan partikel karet yang merupakan materi paling penting di dalam lateks [10].

Mekanisme respon tanaman terhadap cekaman lingkungan melalui epigenetik tersebut diprediksi sama ketika tanaman merespon stimulus eksternal. Stimulus yang dimaksud adalah perlakuan, pupuk, penambahan zat hara, aplikasi biostimulan dan sebagainya. Mekanisme epigenetik melalui transposon bisa saja berperan sehingga mendorong ekspresi gen-gen terkait pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti asam giberelin dan sitokinin menjadi lebih efektif sehingga menghasilkan tanaman dengan produksi tinggi. Sebuah riset aplikasi biostimulan membuktikan bahwa aplikasi stimulus eksternal meningkatkan mekanisme respon pertahanan tanaman terhadap nematoda [11]. Sebuah riset lain menggunakan asam heksanoid sebagai stimulus eksternal memperlihatkan bagaimana tanaman dapat merubah metabolismenya melalui jalur epigenetik [12]. Perubahan sifat tersebut kemungkinan besar diturunkan.

Hingga saat ini, masih banyak mekanisme epigenetik yang memerlukan penjelasan lebih lanjut. Riset-riset terkait peran epigenetik dalam evolusi dan perkembangan tanaman hingga respon terhadap lingkungan masih terus dikembangkan. Namun satu hal yang dapat dipahami bahwa para ilmuwan sepakat bahwa epigenetik merupakan satu mekanisme yang menjadi kunci dari “adaptasi” makhluk hidup terhadap lingkungannya.

Referensi

1. Waddington CH. The Epigenotype. *International Journal of Epidemiology*. 2012;41(1):10-3.
2. Iwasaki M, Paszkowski J. Epigenetic memory in plants. *The EMBO Journal*. 2014;33(18):1987-98.
3. Berry S, Dean C. Environmental perception and epigenetic memory: mechanistic insight through FLC. *The Plant Journal*. 2015;83(1):133-48.
4. Mirouze M, Paszkowski J. Epigenetic contribution to stress adaptation in plants. *Curr Opin Plant Biol*. 2011;14(3):267-74.
5. McClintock B. The significance of responses of the genome to challenge. *Science*. 1984;226(4676):792-801.

6. Pérez-Hormaeche J, Potet F, Beauclair L, Le Masson I, Courtial B, Bouché N, et al. Invasion of the Arabidopsis Genome by the Tobacco Retrotransposon Tnt1 Is Controlled by Reversible Transcriptional Gene Silencing. *Plant Physiology*. 2008;147(3):1264-78.
7. Mottinger JP, Johns MA, Freeling M. Mutations of the *Adh1* gene in maize following infection with barley stripe mosaic virus. *Molecular and General Genetics MGG*. 1984;195(1):367-9.
8. Ito H, Gaubert H, Bucher E, Mirouze M, Vaillant I, Paszkowski J. An siRNA pathway prevents transgenerational retrotransposition in plants subjected to stress. *Nature*. 2011;472(7341):115-9.
9. Ong-Abdullah M, Ordway JM, Jiang N, Ooi SE, Kok SY, Sarpan N, et al. Loss of Karma transposon methylation underlies the mantled somaclonal variant of oil palm. *Nature*. 2015;525(7570):533-7.
10. Uthup TK, Saha T, Ravindran M, Bini K. Impact of an intragenic retrotransposon on the structural integrity and evolution of a major isoprenoid biosynthesis pathway gene in *Hevea brasiliensis*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2013;73:176-88.
11. Tsygankova VA, Iutynska GA, Galkin AP, Blume YB. Impact of New Natural Biostimulants on Increasing Synthesis in Plant Cells of Small Regulatory si/miRNA With High Anti-Nematodic Activity. *International Journal of Biology*. 2013;6(1):48.
12. Aranega-Bou P, de la O Leyva M, Finiti I, García-Agustín P, González-Bosch C. Priming of plant resistance by natural compounds. Hexanoic acid as a model. *Frontiers in Plant Science*. 2014;5(488).