

## Mekanisme Regenerasi Anggota Tubuh Hewan

Aprizal LUKMAN<sup>1)</sup>

**ABSTRACT.** Morphogenetic process of ontogenetic cycle is the destruction model of certain system that had been developed in advanced. An animal organism occupy an ability to fix its own hurt extensively due to natural or physical accident on experiment.

**ABSTRAK.** Proses-proses morfogenetik dari siklus ontogenetik adalah dengan cara destruksi sebagian sistem yang telah berkembang sebagai hasil perkembangan sebelumnya. Organisme khususnya golongan hewan memiliki kemampuan untuk memiliki dan memperbaiki kerusakan-kerusakan bagian tubuh secara ekstensif baik akibat kecelakaan pada kondisi alamiah maupun akibat disengaja dalam suatu percobaan

### PENDAHULUAN

Pembentukan kembali proses-proses morfogenetik pada tahap lanjut dari siklus ontogenetik adalah dengan cara destruksi sebagian sistem yang telah berkembang sebagai hasil perkembangan sebelumnya. Organisme khususnya golongan hewan memiliki kemampuan untuk memiliki dan memperbaiki kerusakan-kerusakan bagian tubuh secara ekstensif baik akibat kecelakaan pada kondisi alamiah maupun akibat disengaja dalam suatu percobaan. Kerusakan yang diperbaiki itu mungkin berupa pemulihan kerusakan akibat hilangnya bagian tubuh utama umpamanya anggota badan mungkin hanya berupa penggantian kerusakan-kerusakan terjadi dalam proses fisiologi biasa. Dalam peristiwa tersebut nampak adanya suatu kemampuan organisme untuk memperbaharui kembali bagian tubuh yang terganggu/rusak dan proses perbaikan tersebut dengan regenerasi kembali.

Peristiwa regenerasi bagi organisme merupakan hal yang sangat penting karena proses yang esensial selama perjalanan hidup organisme. Adanya bagian tubuh yang lepas akibat ketuan atau kecelakaan dengan proses regenerasi bagian tubuh yang lepas akan diganti kembali dengan jaringan baru kembali. Dan juga beberapa organisme proses regenerasi merupakan hal yang sangat penting dalam reproduksi secara aseksual (Philip, 1978) Menurut sejarahnya kerangka filosofis untuk studi regenerasi sebagian besar telah dirumuskan oleh Morgan secara aktif terus dilakukan penelitian-penelitian hingga sampai sekarang.

Menurut Morgan dalam Browder (1984), ia mengenal dua mekanisme primer untuk

pembentukan kembali bagian-bagian tubuh yang hilang. Pertama, regenerasi morfalisasi yakni suatu proses perbaikan yang melibatkan reorganisasi bagian tubuh yang masih tersisa untuk memulihkan kembali bagian tubuh yang hilang. Jadi dalam jenis regenerasi ini pemulihan bagian yang hilang itu sepenuhnya diganti oleh jaringan lama yang masih tertinggal. Kedua, epimorfosis yaitu rekonstruksi bagian-bagian yang hilang melalui proliferasi dan diferensiasi jaringan dari permukaan luka. Namun regenerasi dapat pula berupa penimbunan sel-sel yang nampaknya belum terdiferensiasi pada luka dan sering disebut, blastema, yang akan berproliferasi dan secara progresif membentuk bagian yang hilang.

Adanya regenerasi pada organisme dewasa menunjukkan suatu bukti bahwa medan morfogenesis tetap terdapat setelah periode embrio, umpamanya regenerasi anggota badan yang hilang, dalam proses regenerasi melibatkan berbagai proses yang serupa dengan yang terjadi pada perkembangan embrionik, seperti bagian yang rusak muncul sel-sel, kemudian memperbanyak diri berhimpun menjadi jaringan dan akhirnya mencapai keadaan yang berbeda. Lagi pula pada beberapa species regenerasinya hanya terjadi pada hewan dewasa saja, embrionya sama sekali tidak memiliki kemampuan regenerasi, umpamanya suatu telur Ascida yang kehilangan blastomernya akan berkembang menjadi larva yang tidak lengkap, misalnya lagi Annelida yang kehilangan sel 4 d nya, akan kehilangan sebagian besar mesodermnya, pada hal Ascida dan Annelida dewasa sama-sama memiliki daya regenerasi yang tinggi selama kehidupan dewasanya.

Seperti halnya pertumbuhan dan perkembangan embrionik pada proses regenerasi pun melibatkan pula ekspresi pengaturan kemampuan perkembangan yang diatur secara genetis. Oleh karena itu regenerasi pun merupakan bidang yang bermanfaat karena memberikan pandangan baru untuk pengertian yang lebih mendalam mengenai mekanisme umum dalam pengaturan pertumbuhan dan diferensiasi.

Untuk membahas lebih jauh tentang berbagai aspek yang berkaitan dengan masalah regenerasi akan diraikan dalam penjelasan-penjelasan lebih lanjut. Masalah utama yang akan penulis uraikan pada halaman selanjutnya adalah pembahasan tentang regenerasi anggota badan hewan amfibia, serta perbandingan-perbandingan dengan daya regenerasi pada beberapa kelompok hewan dengan maksud untuk lebih memberi penjelasan tentang fakta-fakta yang terjadi pada hewan selain amfibia sebagai media untuk studi lanjut mengenai komparatif regenerasi-regenerasi pada hewan-hewan lainnya.

Tujuan penulisan karya ilmiah ini adalah untuk memberi sumbangan pemikiran kepada staf pengajar dan mahasiswa didalam masalah biologi perkembangan, dalam membantu penyelesaian tugas-tugas mahasiswa yang mengontrak mata biologi perkembangan, dan lainnya yang saling berhubungan. Adapun tujuan penulisan secara rinci dapat penulis uraikan sebagai berikut :

1. Memberikan suatu perbandingan tentang regenerasi hewan yang dapat dijadikan studi komparatif lanjut mengenai kemampuan regenerasi setiap hewan.
2. Memberikan bahasan tentang regenerasi yang terjadi pada hewan amfibia sebagai pola contoh.
3. Memberikan penjelasan tentang darimana sel yang berregenerasi itu.
4. Menjelaskan peranan hormon dalam proses regenerasi tersebut.

### **REGENERASI DARI BEBERAPA HEWAN**

Sesungguhnya hampir seluruh organisme memiliki kemampuan untuk meregenerasi struktur yang rusak. Khususnya pada phylum hewan kemampuan meregenerasi bagian-bagian yang rusak/hilang itu berbeda-beda pada berbagai kelompok taksonomi, daya regenerasi yang sangat tinggi umpamanya terdapat kelompok hewan invertebrata seperti porifera,

coelenterata, plathyhelminthes, annelida, dan tunicata.

Banyak species dari kelompok-kelompok hewan tersebut memiliki kemampuan untuk menyusun kembali suatu individu baru hanya dari suatu fragmen yang relatif kecil sekalipun (Balinsky, 1976). Kemampuan tersebut tidak hanya ditunjukkan secara eksperimental namun di alampun berlangsung sangat umum terutama dalam kaitannya dengan mekanisme reproduksi seksual. Beberapa cacing pipih dan annelida yang kemampuan regenerasinya sangat efisien, biasanya memperbanyak diri dengan jalan menata kembali bagian-bagian tubuhnya yang terpotong melintang. Pada tunicata yang hidup berkoloni dapat meregenerasi dari bagian tubuh yang relatif kecil yang secara teratur membentuk tunas-tunas dimana tiap tunas memisahkan dirinya dari induknya, menata diri kembali menjadi individu.

Beberapa hewan vertebrata menunjukkan kemampuan regenerasi yang bermacam-macam. Umpamanya pada ikan biasa nya dapat meregenerasi bagian distal sirip yang rusak, kecebong katak anura dapat meregenerasi ekor dan kaki belakang sebelum metamorfosis lanjut. Namun diantara hewan vertebrata yang mampu meregenerasi bagian utama tubuh pada tingkat dewasa hanya terdapat pada urodella, dimana dapat mengganti anggota badan dan ekor, mata atau insang yang hilang. Sedangkan pada vertebrata yang tinggi derajatnya tidak terdapat daya regenerasi fisiologis, kecuali pada sel darah, kulit dan derivat-derivat integumen tetap berlangsung untuk mengganti kulit yang terkelupas seumur hidupnya.

Dengan memperhatikan contoh-contoh regenerasi pada hewan nampak bahwa kecenderungan berlangsungnya regenerasi fisiologis itu dibatasi pula derajatnya menunjukkan kompetensi regenerasi yang semakin berkurang (Berill, 1974).

### **REGENERASI ANGGOTA TUBUH AMFIBIA**

Jenis amfibia yang sering digunakan sebagai objek studi regenerasi adalah salamander dewasa dan larvanya, terutama spesies-spesies *Ambystoma* dan *Triturus*, juga regenerasi anggota tubuh telah banyak dilakukan pada tingkat larva anura terutama dari genus *Rana* dan *Xenopus*, telah dipelajari secara seksama dan sekaligus merupakan subjek terkenal dalam memperbaiki dan mempelajari regenerasi anggota tubuh.

Menurut Singer dalam Browder (1984), bahwa proses-proses yang terlibat dalam regenerasi anggota tubuh *Cristurus cristatus*, setelah diamputasi meliputi hal-hal sebagai berikut :

#### **a. Periode penyembuhan luka**

Tahap penyembuhan luka ini diawali dari tepi luka dengan penyebaran epidermis dari tepi luka yang akan menutupi permukaan yang terluka. Penyebarannya dengan cara gerakan amoeboid sel-sel yang tidak melibatkan pembelahan mitosis sel. Akan tetapi sekali penutupan selesai sel-sel epidermis berproliferasi untuk menghasilkan masa sel yang berlapis-lapis dan membentuk sebuah tudung berbentuk kerucut pada ujung anggota badan. Struktur tersebut dikenal dengan "Apical epidermis cap". Waktu penyembuhan luka relatif cepat, namun tergantung juga pada ukuran hewan yang beregenerasi dan ukuran luka serta faktor-faktor eksternal seperti suhu. Pada salamander proses penutupan luka setelah anggota badan diamputasi berlangsung kira-kira satu atau dua hari.

#### **b. Periode penghancuran jaringan (histolisis)**

Setelah proses penutupan luka, proses lain yang sangat penting dalam regenerasi adalah terjadinya dediferensiasi jaringan-jaringan yang berdekatan dengan permukaan luka, dediferensiasi didahului dengan histolisis jaringan-jaringan didalam puntung secara besar-besaran. Jaringan yang telah terdiferensiasi seperti otot, tulang rawan, tulang ikat, matriks, interselulernya hancur dan melepaskan individu sel-sel mesenkhim yang merupakan sel-sel awal dari jaringan yang telah berdiferensiasi tersebut.

#### **c. Periode pembentukan blastema**

Sel-sel mesenkhim yang dilepaskan selama diferensiasi tertimbun di bawah epidermis, sel-sel berproliferasi cepat dan menyebabkan epidermis menjadi semakin menonjol. Masa sel-sel mesenkhim ini dinamakan blastema regenerasi.

#### **d. Diferensiasi dan morfogenesis**

Jaringan pertama yang berdiferensiasi dari blastema adalah tulang rawan. Mula-mula muncul pada ujung tulang sejati dan terjadi penambahan secara progresif pada distal bagian ujungnya, ketika konstruksi tulang menjadi sempurna rangka yang telah beregenerasi berubah menjadi tulang. Berikutnya otot terbentuk disekitar tulang rawan. Sedangkan

pembuluh darah tidak jelas pada tahap konstruksi awal, serabut saraf yang terpotong pada saat amputasi segera aksornya tumbuh ke daerah luka dan merekonstruksi pola-pola persarafan. Dibagian luar terjadi perubahan-perubahan bentuk puntung anggota yang semula menyerupai kerucut, selanjutnya mulai memipih dorsoventral pada bagian ujungnya, bagian pipih menunjukkan tanda-tanda jari awal yakni korpus atau tarsus rudimen yang dinamakan plat kaki atau tangan. Selanjutnya pola-pola pembentukan jari-jari yang progresif dimana segera jari-jari sederhana muncul, terpisah satu sama lainnya. Akhirnya anggota tubuh sempurna terbentuk dan berfungsi normal.

### **ASAL SEL YANG BEREGENERASI**

Darimanakah sel-sel yang beregenerasi itu berasal pada uraian sebelumnya bahwa sel-sel blastema yang terlibat yang terlibat dalam regenerasi anggota tubuh berasal dari dediferensiasi lokal jaringan puntung selama penghancuran jaringan (histolisis). Alternatif lain menyatakan bahwa sumber sel-sel blastema berasal dari sel-sel cadangan yang bergerak dari wilayah lain sebagai akibat amputasi. Mengenai asal sel lokal yang bergerak dalam ikut serta dalam regenerasi anggota tubuh amfibia telah diketahui oleh Hertwig (1927) melakukan eksperimen yaitu, suatu anggota tubuh haploid (n) yang diamputasi, selanjutnya dicangkokkan di salamander diploid (2n). Hasil pencangkokan ini dibiarkan sampai sembuh, berikutnya dilakukan amputasi pada bagian lengan atas dari anggota badan haploid (n) yang telah sembuh. Setelah dibiarkan beberapa saat serta merta telah muncul blastema, dan hasil eksperimen menunjukkan bahwa semua sel-sel yang beregenerasi adalah haploid (n).

Sebenarnya asal blastema dari anggota badan yang beregenerasi asalnya heterogen muncul dari diferensiasi jaringan-jaringan otot, tulang, tulang rawan, ikat, dimana ujung sel blastema itu merupakan hal yang sangat penting dalam analisis regenerasi anggota badan vertebrata.

Suatu eksperimen standar telah dilakukan dengan menggunakan radiasi sinar-X yaitu sebuah anggota badan amfibia diiradiasi sinar-X sebelum amputasi ternyata mencegah terjadinya regenerasi yakni jaringan puntung diiradiasi tidak sanggup berproliferasi membentuk blastema regenerasi. Kejadian ini dimungkinkan sebagai akibat adanya iradiasi sinar-X merusak kemampuan mitosis dari jaringan yang diiradiasi.

## **PERANAN HORMON DAN FAKTOR-FAKTOR SISTEMIK**

Menurut Thornton (1968) dalam Browder (1984) menyatakan bahwa regenerasi juga dipengaruhi oleh sistem endokrin, penghilangan kelenjar pituitri anterior (hipofisektomi) mencegah regenerasi urodella dewasa, pengaruh yang paling besar jika hipofisektomi dilakukan pada saat amputasi. Jika hipofisektomi dilakukan pada saat reaksi diperlambat maka tingkat regenerasi tergantung pada panjang bagian yang tersisa. Apabila diperlambat sekurang-kurangnya tiga belas hari tidak berpengaruh pada regenerasi. Interpretasi terbaik menduga bahwa hormon pituitri berperan hanya selama tahap awal regenerasi yakni pada saat penyembuhan luka dan dideferensiasi, maka dengan demikian pertumbuhan blastema dan diferensiasi tidak memerlukan persediaan hormon pituitri yang terus-menerus (Phillip, 1978).

Telah diketahui beberapa hormon terutama ACTH, hormon pertumbuhan dan bahkan prolaktin, merangsang regenerasi anggota badan dari hewan yang dihipofisektomi. Hormon lain yakni tiroksin, suatu hormon yang mengontrol metamorfosis juga mempengaruhi regenerasi, terutama pada regenerasi Anura. Namun pengaruh tiroksin masih kurang dipahami karena hormon tersebut mencehah regenerasi anggota badan kecebong apabila diberikan sebelum amputasi, tetapi mempercepat morfogenesis jika diberikan pada tahap blastema.

## **PENGATURAN DAN PEMELIHARAAN POLARITAS**

Pengaturan dan pemeliharaan polaritas dari suatu organisme adalah ciri umum semua pola regenerasi baik pada tumbuhan maupun hewan. Contoh jelas dipertahankannya polaritas diperlihatkan pada anggota badan Urodella. Menurut Dent dan Butler dalam Spratt (1971) apabila anggota badan Urodella diamputasi kemudian puntungnya disipkan kedalam otot punggung yang telah disayat dan dibiarkan. Setelah puntung sembuh dimana sudah tersedia pembuluh darah dan saraf. Kemudian anggota dari tubuh diamputasi melalui bagian lengan atas/humerusnya ternyata blastemanya selalu membentuk bagian-bagian distal dari anggota badan, yang dimulai dengan pembentukan bagian yang sesuai dengan tempat terjadinya amputasi. Walaupun bagian anggota badan dalam posisi terbalik. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa suatu pembalikan dari

polaritas telah terjadi pada anggota badan sifat informasi dalam bentuk pertumbuhan.

## **PERANAN APICAL CAP DALAM SUATU FAKTOR LOKAL**

Setelah anggota badan diamputasi segera apidermis kulit menutup luka dan berproliferasi untuk membentuk struktur Apical Epidermal cap (AEC), yang berlapis banyak (multilayer). Telah dibuktikan bahwa AEC telah jika ditransplasi kebagian dasar suatu blastema anggota badan, menginduksi pertumbuhan sekunder dan perlengkapan anggota badan. Pada waktu AEC dicangkokkan ke lokasi yang baru, indeks mitosis pada tempat asal AEC menjadi berkurang. Sekurang-kurangnya dalam hal peranan AEC, program embrionok diulangi selama regenerasi karena AEC merangsang pertumbuhan mesoderm (Phillip, 1978). Eksperimen lain yang dilakukan Goss (1956) yakni suatu anggota badan yang diamputasi disisipkan kedalam rongga badan ternyata regenerasi tidak berlangsung, akan tetapi bila bagian anggota badan yang diamputasi itu dibiarkan sembuh terlebih dahulu dengan ditutupi AEC sebelum disisipkan kedalam rongga badan, ternyata anggota badan membentuk blastema dan beregenerasi didalam rongga badan.

## **KESIMPULAN**

Daya regenerasi pada setiap golongan hewan berbeda-beda sesuai dengan derajatnya dalam tingkat taksonomi, dilihat dari segi kepentingannya, suatu regenerasi bagi organisme mutlak diperlukan karena berperan dalam perbaikan bagian tubuh yang mengalami kerusakan. Bahkan beberapa organisme regenerasi merupakan suatu mekanisme, reproduksi aseksual yang sangat esensial.

Khususnya regenerasi anggota tubuh pada amfibia melibatkan urutan-urutan mekanisme yang cukup rumit berkisar dari proliferasi, diferensiasi hingga reorganisasi bagian-bagian anggota badan yang tersisa untuk berlangsungnya regenerasi anggota badan yang tersisa untuk berlangsungnya regenerasi anggota badan pada amfibia bila memerlukan faktor-faktor pengatur diantaranya, tudung epidermis (Apical cap) persarafan, dan sistem endokrin. Regenerasi pada amfibia juga dapat dihambat dengan menggunakan iradiasi sinar-X dan faktor-faktor eksternal yang lain. Satu ciri khas dari suatu hasil regenerasi adalah dipertahankannya

sifat polaritas dari sistem pengendali organisme dalam regenerasinya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Balinsky, B.I. 1976. *An introduction embryology*, 4<sup>th</sup> ed, W.B. saunders Co. Philadelphia, London.
- Berill, N.J.1974. *Development biology*, MC Graw Hill Co, p. 240.
- Browder, L.W. 1984. *Developmental biology*, 2<sup>th</sup> ed, W.B. Saunders, London.
- Goss, B.M. 1956. *Fundamental of comparative embryology*. Fith edition. Mc. Graw Hill Book Co. New York.
- Hertwig, J.J. 1927. *Fundamental of comparative embryology the vertebrata*. The Mac Millan company. New York.
- Phillip, G. 1978. *Biology of developmental system*, Holt, Rinehart and Winston, New York, Sab Francisco.
- Spratt, N.T. 1971. *Developmental biology*, Mac Millan Publishing Co. Belmont, California.