

Teori Keos (*Chaos Theory*) : ***Dapatkan Gejala Dinamika Alam dan Sosial Diprediksi*** ***dalam Jangka Panjang?***

Oleh: **Sahid** -- Lab Komputer Jurdik Matematika FMIPA UNY

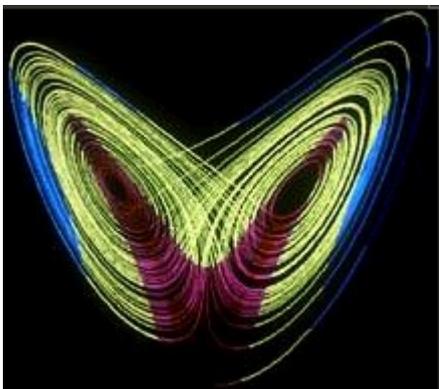
Chaos Theory merupakan suatu teori yang menjelaskan perubahan yang bersifat kompleks dan tak dapat diprediksi atau sistem-sistem dinamik yang peka terhadap kondisi awal. Sistem keos secara matematis bersifat **deterministik** (sebagai lawan sifat **probabilistik**), yakni mengikuti hukum-hukum yang persis, tetapi perilaku ketakberaturannya dapat tampak seperti bersifat acak bagi pengamat awam. Perilaku keos dapat terjadi pada berbagai sistem seperti rangkaian listrik, penyebaran penyakit campak, laser, roda bergigi (gir) yang meleset, irama denyut jantung, aktivitas elektrik otak, irama sirkulasi darah dalam tubuh, populasi binatang, dan reaksi kimia. Lebih daripada itu, bahkan diyakini bahwa sistem ekonomi, seperti *stock exchange*, dapat bersifat keos. Studi mengenai masalah keos secara cepat berkembang dari kajian teoritis matematis ke ilmu-ilmu terapan.

Hakekat dinamika alam semesta telah mengarahkan berbagai riset ilmiah yang ditujukan untuk menganalisis perubahan. Sampai beberapa tahun terakhir masih dipercaya bahwa jika perilaku dinamis sebuah sistem tidak dapat diprediksi, maka hal itu dikarenakan adanya pengaruh acak dari luar sistem. Oleh karena itu, para ilmuwan menyimpulkan bahwa jika pengaruh-pengaruh acak tersebut dapat dihilangkan, maka perilaku semua sistem deterministik dapat diprediksi untuk jangka panjang. Sekarang ini sudah diketahui bahwa banyak sistem dapat menampakkan perilaku jangka panjang yang tak dapat diprediksi sekalipun tidak ada pengaruh acak. Sistem-sistem demikian inilah yang disebut **sistem keos**. Sebuah sistem sederhana sekalipun, seperti sebuah pendulum, dapat menampakkan keos. Ketidakterprediksikannya sistem-sistem keos muncul karena kepekaan sistem-sistem tersebut terhadap kondisi awal, seperti posisi dan kecepatan awal. Dua sistem keos identik yang diset untuk bergerak dengan kondisi awal yang sedikit berbeda dapat secara cepat menampakkan gerakan-gerakan yang sangat berbeda. Ahli matematika Perancis Henri Poincaré menyimpulkan bahwa ia tidak dapat membuktikan bahwa sistem tata surya sepenuhnya dapat diprediksi. Ia adalah ilmuwan yang pertama kali menyatakan definisi suatu keadaan mengenai apa yang kemudian dikenal sebagai **keos** (*chaos*): "Boleh jadi perbedaan kecil pada kondisi awal akan menghasilkan perbedaan yang sangat besar pada fenomena akhir. Suatu kesalahan kecil yang terjadi sebelumnya akan menghasilkan kesalahan yang sangat besar pada akhirnya. Prediksi menjadi tidak mungkin". Demikian tulisnya.



Citra Cuaca dari Satelit

Kebanyakan layanan cuaca menggunakan informasi satelit untuk ramalan cuaca. Gambar ini merupakan salah satu pola dan gerakan topan Gloria yang memberikan petunjuk mengenai apa yang akan dilakukan oleh badai tersebut. Satelit cuaca secara terus menerus memantau dan membuat gambar cuaca di seluruh dunia, namun masih sulit meramalkan cuaca karena terdapat banyak variabel yang mempengaruhi cuaca. Sensor infra-merah membantu para ahli meteorologi menerjemahkan gambar-gambar satelit cuaca untuk menentukan ketinggian dan suhu awan.



Atraktor Aneh

Suatu atraktor aneh (*strange attractor*) merupakan sebuah kurva tiga dimensi yang melukiskan lintasan sebuah sistem yang bergerak secara keos. Sebuah sistem yang bergerak secara keos sepenuhnya tidak dapat diramlakan – sekalipun diketahui konfigurasi sistem di suatu titik waktu, tidaklah mungkin meramalkan secara pasti bagaimana keadaan sistem tersebut di suatu titik waktu kemudian. Akan tetapi, gerakan sistem keos tidak sepenuhnya acak, seperti terlihat pada gambar lintasan ini.



Jules Henri Poincaré

Ahli fisika dan matematika Perancis abad-19 yang telah memperluas bidang fisika matematika melalui berbagai risetnya.

Poincaré, Jules Henri (1854-1912), fisikawan dan matematikawan kenamaan abad-19 asal Perancis adalah sepupu seorang negarawan dan penulis Perancis Raymond Poincaré. Ia dilahirkan di kota Nancy dan belajar di *the École Polytechnique* dan *the École Supérieur des Mines* Paris. Ia mengajar di Universitas Caen dari 1879 sampai 1881 dan menjadi dosen di Universitas Paris dari 1881 sampai 1885, kemudian menjadi guru besar dalam mekanika fisika dan fisika matematika (1886) dan mekanika angkasa (1896). Poincaré memberikan sumbangan orisinal yang penting dalam teori persamaan diferensial, topologi, probabilitas, dan teori fungsi. Ia khususnya dikenal karena jasanya mengembangkan teori fungsi *Fuchsian* dan sumbangannya dalam mekanika analitik. Kajian-kajian yang dilakukannya termasuk riset bidang teori elektromagnetik cahaya dan listrik, mekanika fluida, transfer panas, dan termodinamika. Ia juga telah mempersiapkan teori keos. Diantara lebih dari 30 buku tulisan Poincaré adalah *Science and Hypothesis* (1903; diterjemahkan 1905), *The Value of Science* (1905; diterjemahkan 1907), *Science and Method* (1908; diterjemahkan 1914), dan *The Foundations of Science* (1902-8; diterjemahkan 1913). Pada 1887 Poincaré menjadi anggota **Akademi Sains Perancis** dan menjadi presiden organisasi tersebut pada 1906. Ia juga terpilih sebagai anggota **Akademi Perancis** pada 1908.

Penjabaran penemuan Poincaré semula tidak sepenuhnya dilakukan oleh kebanyakan ilmuwan sampai komputer memungkinkan mereka untuk secara mudah memodelkan dan menggambarkan sistem keos. Namun

sebelumnya para ilmuwan dan insinyur pelopor di **NASA** (*National Aeronautics and Space Administration*) telah menggunakan penemuan Poincaré untuk mengirim orang dan satelit ke orbit. Edward Lorenz, seorang ahli meteorologi Amerika, di awal tahun 60-an menemukan bahwa sebuah model cuaca yang disederhanakan yang dihasilkan oleh komputer menunjukkan kepekaan luar biasa terhadap kondisi awal cuaca yang terukur. Ia menunjukkan secara visual adanya struktur di dalam model cuaca keosnya yang apabila digambar secara tiga dimensi, tampak seperti sebuah *fraktal* berbentuk kupu-kupu, yang sekarang dikenal sebagai *strange attractor*. Lorenz menemukan kembali keos dan membuktikan bahwa ramalan cuaca jangka panjang merupakan sesuatu yang tidak mungkin dilakukan.

Menjelang awal 1980-an, berbagai percobaan secara teratur telah menunjukkan bahwa banyak sistem fisik dan biologi yang berperilaku secara keos. Salah satu sistem demikian yang pertama ditemukan adalah kran air yang menetes. Pada kondisi tertentu waktu antar tetesan air dari sebuah kran yang bocor menampakkan perilaku keos, yang membuat peramalan jangka panjang mengenai waktu tetesan tersebut tidaklah mungkin.

Berdasarkan bukti terakhir, pengamatan Poincaré mengenai ketakteramalkannya sistem tata surya tampaknya benar. Beberapa observasi dan simulasi komputer terhadap gerakan *Hyperionu* yang berguling-guling, sebuah bulan Saturnus yang berbentuk kentang telah memberikan bukti pertama yang kuat bahwa obyek-obyek dalam tata surya dapat berperilaku secara keos. Beberapa simulasi komputer yang dilakukan baru-baru ini juga menunjukkan bahwa orbit Pluto, planet paling jauh dalam tata surya juga bersifat keos.

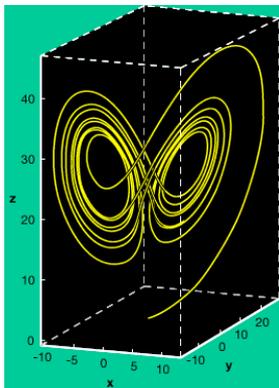
Para ilmuwan sedang mengembangkan berbagai aplikasi keos. Beberapa teknik pengendalian yang sadar keos sedang digunakan untuk menstabilkan laser, memanipulasi reaksi kimia, mengkode informasi, dan mengubah irama jantung yang keos menjadi irama jantung yang teratur dan sehat.

Antara Keos dan Fraktal?

Keos (*chaos*) merupakan bidang kajian dalam mekanika dan matematika dan merupakan perilaku yang tampak acak atau tak terprediksi dalam sistem-sistem yang dibangun oleh hukum-hukum deterministik. Istilah lain yang lebih akurat adalah "keos deterministik", suatu istilah yang bersifat paradoks karena istilah tersebut menghubungkan dua makna yang sudah dikenal dan umumnya dianggap tidak saling cocok. Istilah pertama mengandung pengertian acak atau tak terprediksi, seperti dalam lintasan sebuah molekul di dalam gas atau memilih sebuah individu dari sebuah populasi. Dalam analisis konvensional kejadian acak dianggap lebih menunjukkan penampakan daripada kenyataan, yang muncul dari pengabaian berbagai sebab. Dengan kata

lain, sudah diyakini secara umum bahwa kejadian di dunia tidak dapat diprediksi karena kekompleksannya. Pengertian kedua adalah adanya gerakan deterministik, seperti gerakan sebuah pendulum atau planet, yang telah diterima sejak Isaac Newton sebagai contoh sederhana keberhasilan ilmu pengetahuan di dalam merumuskan (dalam bentuk persamaan matematis) sesuatu yang kemudian dapat diprediksi.

Dalam beberapa dasawarsa terakhir, keanekaragaman sistem telah dikaji dan menunjukkan adanya perilaku yang tak terprediksi meskipun tampak sederhana dan adanya kenyataan bahwa gaya-gaya yang terkait mengikuti hukum-hukum fisika yang sudah dikenal. Unsur umum dalam sistem-sistem ini sangat sensitif terhadap kondisi awal dan cara gerakan mereka diset. Sebagai contoh, ahli meteorologi Edward Lorenz menemukan bahwa sebuah model sederhana untuk konvensi panas menunjukkan adanya perilaku tak terprediksi secara intrinsik, suatu keadaan yang ia sebut sebagai "efek kupu-kupu", sehingga sekedar melepaskan sebuah sayap kupu-kupu dapat mengubah cuaca. Sebuah contoh yang lebih nyata adalah mesin **jackpot**: gerakan-gerakan bola secara persis mengikuti hukum gravitasi naik-turun dan semakin lenyap gerakannya – keduanya dapat dipahami sepenuhnya – sekalipun hasil akhirnya tak dapat diprediksi.



Model cuaca Edward Lorenz

Sumbu-x, y dan z berhubungan dengan komponen-komponen cuaca, sedangkan grafik menunjukkan pola-pola cuaca yang tampak. Grafik tersebut merupakan fungsi waktu, yakni, secara teori, bahwa penelusuran kurva pada satu arah memberikan pola-pola cuaca masa lalu, sedangkan penelusuran kurva pada arah lain menghasilkan prakiraan pola-pola cuaca yang akan datang. Akan tetapi, secara praktis titik-titik yang tak dapat dibedakan mungkin menghasilkan masa cuaca yang sepenuhnya berbeda, ditunjukkan oleh adanya dua cuping yang berbeda. Fenomena ini, yang dikenal sebagai kepekaan terhadap kondisi awal, merupakan penyebab mengapa pada saat ini prakiraan cuaca untuk lebih dari beberapa hari yang akan datang secara persis tidak mungkin dilakukan.

Dalam mekanika klasik perilaku sistem dinamik dapat dijelaskan secara geometris sebagai gerakan pada sebuah **atraktor**. Matematika mekanika klasik secara efektif mengenal tiga jenis atraktor: **titik tunggal** (menandai keadaan mantap), **loop tertutup** (siklus periodik), dan **tori** (kombinasi beberapa siklus). Pada tahun 1960-an sebuah kelas baru "**atraktor aneh**" ditemukan oleh matematikawan Amerika Stephen Smale. Pada atraktor aneh sistem dinamik bersifat keos. Belakangan diakui bahwa atraktor aneh merupakan perkembangan konsep fraktal (sebuah bentuk geometris kompleks yang

umumnya menampilkan sifat keserupaan dengan dirinya), yang pada gilirannya mengarah pada pengembangan grafik komputer. Aplikasi matematika keos sangat beragam, termasuk dalam kajian aliran bergolak benda cair, ketakberaturan detak jantung, populasi dinamik, reaksi kimia, fisika plasma, dan pergerakan kelompok dan gugusan bintang.

Fraktal

Sebuah langkah awal dalam menganalisis suatu sistem dinamik adalah menentukan kondisi awal yang yang menampakkan perilaku serupa. Oleh karena kondisi-kondisi yang saling berdekatan sering serupa maka kondisi-kondisi tersebut biasanya dikelompokkan ke dalam himpunan-himpunan kontinyu atau daerah grafik. Jika sistem tersebut tidak keos, dekomposisi geometris ruang kondisi awal menjadi daerah-daerah diskrit dapat dilakukan secara langsung, dengan batas-batas daerah berupa kurva-kurva sederhana. Akan tetapi jika sistem dinamik bersifat keos, kurva-kurva pemisah daerah bersifat rumit, membentuk obyek-obyek yang sangat tidak beraturan yang disebut **fraktal**.

Sebuah karakteristik sistem dinamik keos adalah sifat sensitivitas yang patologis terhadap posisi awal. Hal ini berarti bahwa berawal dari proses yang sama dua kondisi awal yang berbeda – namun sering tak dapat dibedakan – akan menghasilkan perilaku jangka panjang yang sepenuhnya berbeda. Sebagai contoh, pada model cuaca Edward Lorenz, hampir setiap dua titik awal yang berdekatan menunjukkan cuaca pada saat itu, akan bergerak menyebar secara cepat dan amat sering berakhir pada **cuping** yang berbeda, yang berkaitan dengan cuaca tenang atau badai. Bentuk dua-cuping dalam model cuaca Lorenz menghasilkan sebuah bentuk yang dikenal sebagai metamorfose "efek kupu-kupu": Sekedar mengepakkan sayap kupu-kupu di Cina hari ini mungkin akan menyebabkan sebuah tornado di Kansas besok. Studi yang lebih mutakhir dalam bidang teknik, fisika, biologi, dan bidang-bidang lain telah menunjukkan keberadaan keos di mana-mana di dalam alam.

Daftar Acuan

1. Ensiklopedi *Microsoft Encarta Deluxe 2001*
2. Ensiklopedi *Britanica Deluxe 2002*