

## 4.

### Haba

Hukum dinamik Newton memberi pemerihaln kesan suatu zarah ke atas suatu lagi, menerusi konsep daya. Tertetap apa yang berlaku: diberi keadaan awal, boleh diramalkan keadaan alam selepas itu. Di mana peranan Tuhan? Newton walau meneraju falsafah tabii, seperti kebanyakan cendekiawan waktunya, merupakan seorang teis. Beliau berkata, yang boleh mengetahui segala keadaan awal itu ialah Tuhan dan hanyalah Tuhan.

Ini dan lain-lain perkembangan membawa kepada gambaran alam yang agak mekanikan. Ini tidak secocok dengan sebahagian ahli sains kurun ke18 masehi itu. Berkenaan gambaran kebendaan mekanikan ini, penyair-ahli falsafah tabii Jerman Johann Wolfgang von Goethe menulis, "Tetapi betapa berongga dan kosong yang kita rasakan di dalam masa yang melankolis, atheistik setengah malam, di mana bumi hilang dengan semua imejnya, syurga dengan semua bintangnya. Diadakan jirim yang bergerak dari dahulukala, dan dengan gerakan ini, kanan, kiri, dan setiap arah, tanpa apa-apa lagi, ia adalah untuk menghasilkan fenomena kewujudan yang tidak terhingga." Tambahan kepada gerakan mekanikan ini, dimahukan semacam ruh atau semangat.

Agak meletihkan menjejak zarah demi zarah untuk membina gambaran alam. Pemerihaln lebih makro membantu. Suhu suatu ensemble atau kelompok zarah-zarah misalnya memerihal tentang kandungan tenaga zarah-zarah terkandung, dan berkait dengan tekanan dan isipipadu bagi ensemble berkenaan. Bahagian tenaga yang berbentuk terorganisasi untuk memberi kesan dalam bentuk kerja, adalah tenaga bebas, sementara tenaga yang tak terorganisasi disebut haba. Hubungan di antara parameter-parameter ini diberi oleh termodinamik.

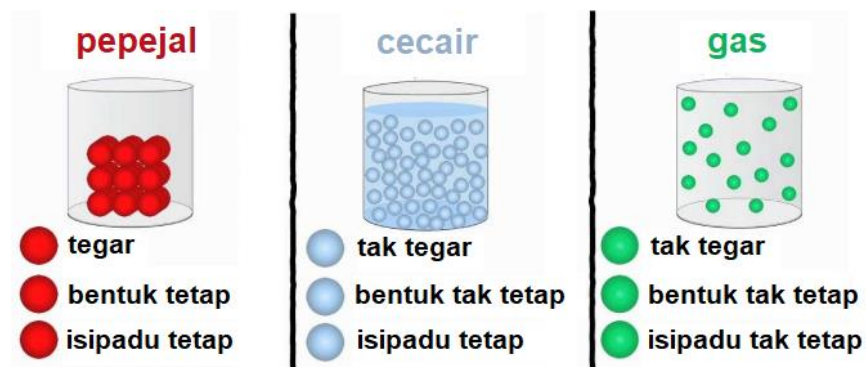
### Termodinamik

Termodinamik merupakan kerangka sains mengenai hubungan antara haba, kerja, suhu, dan tenaga. Ia berkaitan dengan pemindahan tenaga dari satu tempat ke tempat lain dan dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Haba dilihat sebagai satu bentuk tenaga yang sepadan dengan jumlah kerja mekanikal berunsur daripada kelainan suhu.

Suhu mengukur 'kepanasan', yang intipatinya haba. Haba mengindeks tenaga zarah-zarah yang terkandung dalam bahan. Halaju zarah-zarah ini bertabur pelbagai arah dan nilai, setelah salingtindak di antara mereka dan zarah lain, jadi tenaga kinetik jumlah, yang memerihalkan gerak yang seragam, tidak pakai untuk pemerihaln ensemble di sini. Namun haba semacam tenaga kepanasan, dan boleh dialih. Walaupun Gerakan zarah dalaman tidak seragam, secara berkesannya ia membawa kepada tekanan, yang boleh digunakan untuk menjalankan kerja

mekanikan. Bagi gas, kumpulan zarah-zarah yang jauh terpisah, ada hubungan antara suhu, isipadu dan tekanan. Begitu juga bagi cecair dan pepejal, walaupun hubungannya lebih ketat dari segi perubahan isipadu.

Kajian ensemble zarah menunjukkan ada tiga fasa jirim: gas, cecair dan pepejal. Telatah berlainan pada fasa berlainan. Ini bermakna ada skala jarak yang memecahkan ketakvarianannya; jika tidak, bagaimana telatah berlainan boleh dipamerkan pada julat berlainan? Zarah ada salingtindak di antara mereka, dan skala salingtindak ini menetapkan skala untuk tiga fasa berlainan. Gas adalah fasa apabila zarah-zarah jujuk berjauhn berbanding julat salingtindak di antara mereka maka isipadunya besar namun anjal. Cecair pula fasa di mana zarah berdekatan namun tidak begitu terikat dan boleh gelongsor satu terhadap yang lain. Pepejal ialah fasa di mana zarah-zarah terikat dan membentuk struktur yang padat dan pejal.



*Tiga fasa ensemble zarah-zarah dan sifat-sifatnya.*

Ada tiga hukum termodinamik. Hukum pertama menyatakan bahawa tenaga terabadi. Tenaga boleh berubah bentuk, namun jumlahnya tidak berubah. (Dilihat terbalik, mengangkat hukum ini memberikan cara untuk mendefinisi kuantiti sesuatu jenis tenaga itu 😊). Perubahan tenaga dalam suatu sistem itu ialah amaun haba ditambah ditolak kerja dibuat.

Hukum termodinamik yang kedua ialah berkenaan entropi. Entropi ialah ukuran kerawakan dalam sesuatu sistem. Lebih entropi, lebih haba dan kurang tenaga yang ada yang teratur yang berguna untuk kerja. Hukum kedua mengatakan bahawa untuk suatu sistem tersendiri atau tertutup, entropi sentiasa bertambah.

Hukum termodinamik ketiga menyatakan bagi suatu sistem dalam keseimbangan, entropi menjadi sifar bila suhu menuju sifar mutlak.

Untuk menerangkan fenomena termodinamik, fizikus telah menggunakan statistik. Penerangan fenomena sebegini dirujuk sebagai mekanik statistik. Andaian dasar ialah apa yang berlaku adalah bergantung kepada kebarangkalian. Sesuatu keadaan makro (keadaan sistem agregat) yang boleh diberikan oleh banyak keadaan mikro (banyak kombinasi keadaan-

keadaan komponen sistem) banyakkah kebarangkaliannya untuk berlaku. Bilangan keadaan mikro yang ada bergantung pula kepada parameter-parameter makro seperti suhu.

Oleh kerana kita lihat sistem secara makro, kita tak boleh terbalikkan dinamik. Setelah air panas dan kopi dikacau camca dalam arah lawan jam membancuhkannya, kacauan arah lawan jam selepas itu tidak dapat menguraikan air kopi kepada air panas dan kopi yang berasingan. Untuk terbalikkan dinamik, kita perlu maklumat kedudukan dan pergerakan setiap zarah. Saling-tindak zarah-zarah yang tidak di'catat' keadaannya dengan zarah-zarah lain menjadikan ketidaktahuan kita tentang butiran kandungan ensembel bertambah. Hukum termodinamik kedua menyatakan entropi suatu sistem terasing bertambah. Ini selalu dikaitkan sebagai pemberi arah masa.

Hukum termodinamik kedua ini selalu digunakan untuk menyatakan bahawa semesta bergerak kepada keadaan yang lebih rawak. Dengan latar inilah timbulan organisasi biologian menjadi teka-teki. Bolehkah termodinamik/fizik statistik menerangkan kemunculan kehidupan? Kerana kehidupan merupakan organisasi dan keteraturan.

Linear onsager/prigogine

### **Statistik**

Kaedah mekanik statistik ini mengalatkan statistik untuk pemerihalalan fizik. Keadaan-keadaan yang lebih mungkin ialah keadaan-keadaan dengan lebih banyak bilangan kemungkinan mikrokeadaan yang memberikan nilai parameter makro yang sama.

Kbarangkalian  
Ergodicity

### **Maklumat**

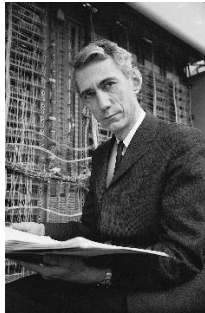
..selaraskan dgn bab 2...

Bertentangan dengan kerawakan, yang serupa kejahilan, ialah maklumat. Claude Shannon yang bekerja di Bell Laboratories, Amerika Syarikat, telah mengemukakan konsep maklumat dalam isyarat yang dihantarkan.

Dalam kurun sebelum itu, George Boole di Cork, Ireland telah memperkenalkan logik dedua, di mana nilai logik *benar* dan *palsu* diwakili nombor 1 dan 0. Bapa Boole hanya seorang pembuat kasut di Lincoln, England, namun merupakan seorang yang berminat dalam sains dan matematik: beliau rajin mengambil bahagian dalam aktiviti Lincoln Mechanics Institute,

semacam kelab sosial yang menganjurkan pembacaan, perbincangan, dan ceramah dalam sains. George Boole memperkenalkan kaedah algebra ke bidang logik.

Shannon telah merekabentuk litar geganti elektrik berdasarkan logik Boole ini, sebelum muncul dengan teori maklumat tadi. Dalam teori maklumatnya, satu digit nombor dedua boleh dianggap sebagai satu bit maklumat, bila diketahui nilainya.



*Claude Shannon (meninggal 2001). Fotograf oleh Alfred Eisenstaedt / The LIFE Picture Collection / Getty*

Shannon menggunakan nombor dedua sebagai asas bagi maklumat. Kebetulannya, ungkapan bagi maklumat oleh Shannon ialah negatif entropi. Jelaslah entropi sebagai ukuran kejahilan, sementara maklumat ialah ukuran keteraturan.

### **Kekompleksan**

Perlu dibezakan di antara ketidakketahuan yang membawa kepada kerawakan, dan ketidakketahuan kerana kerumitan pengiraan. Butiran unsur dalam kerawakan tidak boleh diramalkan tetapi boleh dijana (secara rawak) dengan suruhan tunggal. Bagaimana mahu dibezakan di antara yang mudah dengan yang kompleks? Seperti dibincangkan sebelum ini, satu cara ialah dengan melihat morfologi sistem itu sendiri. Kemudian yang kedua ialah cara atau kaedah yang menghasilkan struktur itu. Sesuatu morfologi mungkin kelihatan kompleks, seperti keadaan rawak, namun boleh dihasilkan dengan cara mudah. Begitu juga sesuatu kaedah yang kompleks mungkin hanya menghasilkan morfologi yang mudah.

Kalau hanya diserahkan kepada hukum termodinamik kedua, kerawakan akan terjadi di alam. Namun kita perhatikan bagaimana hari ini alam ini berstruktur, berbentuk kompleks. Kita lihat adanya organisasi biologi. Morfologi yang kompleks. Proses yang kompleks. Dalam kimia pun ada terorganisasinya fenomena kompleks. Bahkan dalam fizik pun.



*Corak kompleks terhasil dalam tindakbalas kimia tertentu.*

Dalam wilayah fizik, morfologi kompleks boleh timbul dalam sistem taklinear. Didapati dinamik sistem taklinear ini boleh diperihalkan oleh pergerakan kepada penarik. Dinamik awal yang fana beralih kepada dinamik akhir ini. Kalau keadaan akhir ini keadaan pegun, atau keadaan gerakan malar, ia dikatakan penarik titik. Kalau keadaan akhir bersifat pergerakan kitar, maka ia ialah penarik kitar. Keadaan akhir sistem taklinear boleh berupa trajektori yang berubah-berubah, bercelaru, yang mana ia merupakan penarik aneh.



*Penarik titik, penarik kitar dan penarik aneh.*



*Pantai Penarik, Terengganu, Malaysia.*

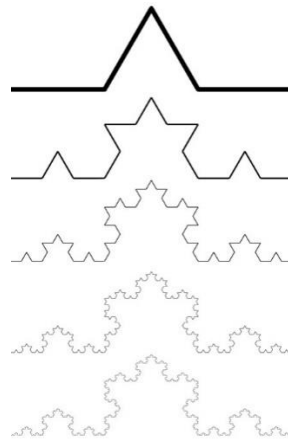
Ada beberapa perkara yang aneh mengenai penarik aneh. Trajektori dinamikinya juga bermorfologi kompleks. Fraktal. Jejak-jejak berbentuk fraktal, atau multifraktal (kumpulan fraktal dengan berlainan dimensi fraktal).

Sebelum ini, kita ada bicang pasal fraktal, sifatnya yang swaserupa, dan kebolehnya menghasilkan morfologi yang mengingatkan kita kepada morfologi biologian.

Kemunculan komputer tepat pada waktunya. Kebanyakan sistem tak linear tak dapat diselesaikan secara analisis algebra. Komputer menyediakan platform untuk mensimulasi dinamik kompleks ini. Pendiskretan masa dan ruang membolehkan pengiraan pergerakan secara berangka.

Fraktal kelihatan kompleks, namun ia boleh dihasilkan oleh algoritma yang agak mudah. Fraktal pernah menarik minatku dalam beberapa segi. Ada disebut sebelum ini.

Semasa cuti sabatikal di Swansea bersama Profesor Farzin Deravi, kenalan daripada semasa di Imperial, yang berkerja dalam bidang pemprosesan imej dalam sains komputer, kami ada ide untuk mencuba fraktal dalam pepadatan imej. Pepadatan imej ialah kajian mencari cara sesuatu imej boleh dipadatkan kepada set maklumat yang lebih kecil yang namun boleh membina semula imej berkenaan. Pepadatan imej penting dalam penghantaran mesej: lagi padat imej, lagi laju dapat ia dihantar. Kami meninjau kemungkinan imej dikod sebagai suatu fraktal atau multifraktal. Ini bermakna mencari songsang penghasilan fraktal.



*Lengkung Koch, suatu fraktal, dan bagaimana ia boleh dihasilkan menerusi operasi berulang.*

Berasaskan bentuk keswaserupaan fraktal, ia boleh dihasilkan menerusi ulangan suruhan-suruhan mudah. Misalnya, lengkung Koch terhasil dengan arahan, gantikan garis lurus ke hadapan dengan garis lurus ke hadapan, belok kiri  $60^\circ$ , lurus ke hadapan, belok kanan  $120^\circ$ , lurus, kiri  $60^\circ$ , lurus.

$$F \rightarrow F+F--F+F$$

*Hukum pengeluaran untuk lengkung Koch: gantikan garis lurus ke hadapan (F) dengan garis lurus ke hadapan (F), belok kiri  $60^\circ$  (+), lurus ke hadapan (F), belok kanan  $120^\circ$  (--), lurus (F), kiri  $60^\circ$  (+), lurus (F).*

Persoalannya, bolehkah kita terbitkan hukum pengeluaran fraktal daripada suatu pola fraktal yang diberikan (“analisis songsangan fraktal”)? Apakah caranya, jika boleh?

Jika boleh, kita boleh cuba menurunkan apa-apa imej (yang dipaksa dianggap sebagai fraktal atau gubahan fraktal) kepada hukum-hukum produksi yang lebih ringkas – maka kita ada cara memadatkan imej. Juga, kita boleh turunkan morfologi biologi terutama botani kepada hukum-hukum pengeluaran dan kaitkan ini dengan hukum-hukum biokimia yang terkandung dalam gen yang mengawal pembentukan morfologi tadi.

Fraktal boleh diberikan ukuran dimensi. Kalau wayar lurus iut dikatakan 1 dimensi, dan plat rata itu 2 dimensi, maka lengkung Koch punyai dimensi di antara 1 dan 2. Pengskalaan linear  $\alpha$

kali menyebabkan 'bahan' 1 dimensi didarab  $\alpha$ , sementara yang 2 dimensi didarab  $\alpha^2$ , dan seterusnya. Bagi kes lengkung Koch, ia swaserupa dengan skala 3 kali ganda, dengan penambahan 4 segmen daripada 1. Jadi kalau dimensinya  $d$ , 4 ialah hasil daripada 3 kuasa  $d$ . Ini bermakna  $3^d = 4$ , ataupun  $d$  ialah  $\log(4)/\log(3) = 1.26$ . Jadi dimensi fraktalnya hanya lebih sedikit daripada dawai lurus satu dimensi.

Dimensi fraktal merupakan suatu ukuran bagi fraktal, namun ia tidak mencerminkan kekompleksan yang dikandunginya. Fraktal kelihatan kompleks - kekompleksan morfologi tinggi – namun ada cara mudah untuk menghasilkannya – kekompleksan algoritmaanya rendah. Adakah ini menyimpan rahsia penghasilan kekompleksan?

### Taklinear

Satu ialah mengukur kekompleksan; satu ialah menangani kekompleksan. Kekompleksan wujud dalam sistem-sistem taklinear. Sistem linear mudah – penyelesaian-penyelasaan boleh bercampur tanpa mencampuri – superposisi mod-mod bebas.

Apabila ada sebutan taklinear dalam ungkapan tenaga, maka selain daripada kemungkinan trajektori yang kompleks, seperti penarik aneh, juga ada kemungkinan gandingan antara mod. Misalnya, fenomena optik taklinear boleh menghasilkan gelombang mod lain daripada mod gelombang tuju yang lain frekuensi.



*Campuran mod optik – penjanaan harmonik kedua.*

Tutor akademik tahun pertama mahasiswa saya di Imperial, Profesor Geoffrey New, adalah di antara yang pertama di dunia yang melihat penjanaan harmonik kedua dalam optik taklinear. Saya diberitahu oleh kerana kecermelangannya, beliau dan pasukannya dibawa ke Imperial untuk mengukuhkan kumpulan penyelidikan optik. Saya ingat sesi tutorial bersamanya, beliau selalu menyediakan kopi untuk kami pelajar-pelajar dibawah seliaannya. Sistem tutor di Imperial waktu itu ialah setiap pelajar punyai seorang tutor akademik, yang ditemui setiap minggu, untuk mengimbas semua pengajaran minggu itu, termasuk untuk menyelesaikan kertas-kertas masalah yang diberi, dan seorang tutor peribadi, yang ditemui

setiap penggal, hanya untuk memastikan kesejahteraan peribadi pelajar. Tutor peribadi saya waktu itu ialah Prof Ian Halliday, ahli fizik teori.

Saya ingat Ian Halliday mengajar kursus mahasiswa fizik keadaan pepejal. Saya ingat kuliahnya gaya *cowboy*; ungkapannya seperti “*and this guy kills this guy* (dan orang ini membunuh orang ini)” apabila memerihalkan pembatalan terma dalam sesuatu persamaan. Fizik keadaan pepejal tidak menjadi minat utama saya.

## Permainan

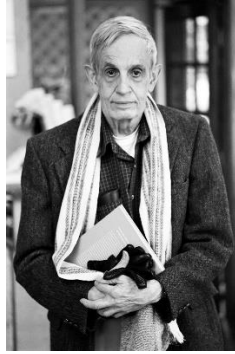
Sistem sosial dan seumpama membabitkan agen yang membuat pilihan, mahupun yang bijak atau yang kurang bijak. Bukan seperti unsur fizikan yang pasif, yang dengan mana salingtindak diperihalkan dengan mudah. Nod-nod saling tindak kini merupakan agen, yang ada pilihan. Keadaan optimum memang bergantung kepada keadaan nod-nod individu, dan sebaliknya, namun dengan keagenan, keadaan nod bergantung kepada pilihan nod. Begitupun, jika kita andaikan telatah tertentu bagi agen-agen ini, misalnya kerasionalan (memilih yang menguntungkan untuk diri), atau ketamakan, kita masih boleh tentukan keadaan-keadaan optimum, atau keadaan ‘keseimbangan’.

 A berdiam diri	  1 tahun 1 tahun	  3 tahun bebas
 A bersaksi	  bebas 3 tahun	  2 tahun 2 tahun

*Matriks pulangan bagi permainan ‘dilema banduan’. Dua agen secara bebas boleh memilih antara salingtindak ‘berdiam diri’ atau ‘bersaksi’. Pulangan diberikan mengikut pilihan-pilihan mereka.*

Ada keadaan kesimbangan yang terbaik untuk sesuatu agen, apapun pilihan agen lain. Ini dinamakan keseimbangan Nash. Keseimbangan atau optimum Pareto pula ialah keadaan terbaik bagi semua orang secara bersama, iaitu keadaan di mana perubahan daripadanya (misalnya, untuk menambahkan keuntungan untuk agen tertentu) menyebabkan kekurangan dalam keuntungan sesuatu agen.





*John Nash atau John Forbes Nash Jr. Peneraju penggunaan teori permainan dalam ekonomi. Memenangi Hadiah Peringatan Nobel dalam Sains Ekonomi 1994. Filem 'A Beautiful Mind' diasaskan atas kehidupan dan kerjayanya.*

Perihal permainan menyeluruhkan salingtindak fizikan yang pasif kepada suatu salingtindak berkeagenan. Pilihan tindakan seseorang agen mungkin bergantung kepada maklumat yang ada untuknya, dan ini membawa suatu lagi dimensi dalam pemerihal salingtindak ini. Pilihan agen menurut maklumat yang ada, dan ingatan hasil-hasil salingtindak lepas, boleh diaturkan oleh sesuatu strategi yang diambil oleh agen berkenaan.

Semasa dekad-dekad awal berkhidmat di Universiti Malaya, sebelum mendapat sokongan dan sumber untuk berkecimpung dalam eksperimen-eksperimen besar fizik zarah keunsuran, saya berminat menerokai sistem kompleks. Bersama pelajar pascasiswazah, dan pakatan pensyarah ekonomi Universiti Putra, simulasi komputer agen-agen yang bermain atas kekisi telah dijalankan. Banduan yang mengulang disimulasi untuk mencari strategi (misalnya *tit for tat* – balas balik yang pehak kedua lakukan dalam pusingan sebelumnya, dan lain-lain) yang harus digunakan. Permainan 'dilema devian' juga direka untuk memodel kenaikan pangkat dalam academia, dan juga permainan letakan harga, untuk memodel dinamik harga di pasaran.



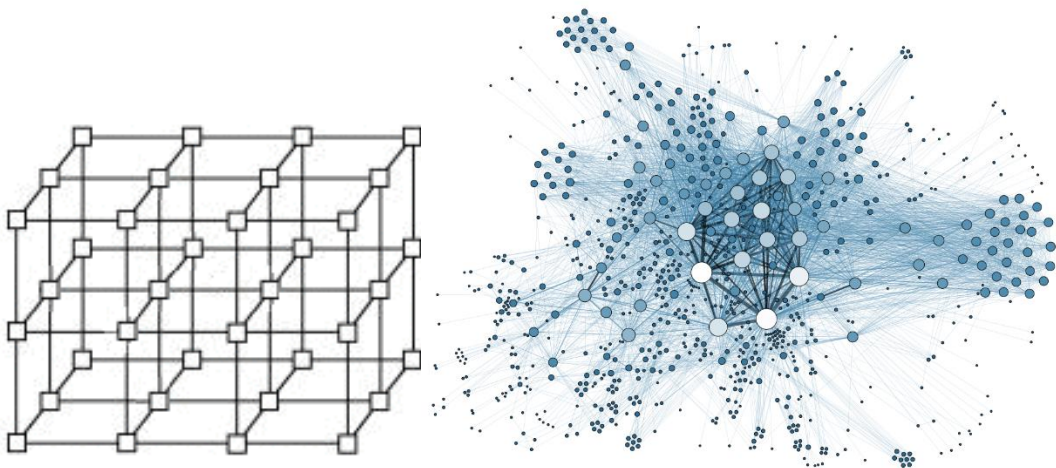
*Arwah Azhar Abdul Karim, professor ekonomi Universiti Putra Malaysia, juga kawan sesekolah dari Terengganu. Kami memajukan permainan Dilema Devian bagi memodel kenaikan pangkat di academia. Ahli akademik dikelaskan samada devian atau pseudo. Pseudo akan berkembang maju dalam dunia penuh pseudo, sementara devian bakatnya hanya dikenali devian. Arwah sendiri seorang devian.*

Sementara permainan meyeluruhkan konsep tindakbalas, rangkaian menyeluruhkan struktur tindakbalas.

## Rangkaian

Satu lagi pendekatan kepada sistem-sistem kompleks ialah penggunaan perihalan rangkaian atau graf. Letakan agan atas nod-nod kekisi mewakili tindakbalas dalam ruang, yang bergantungkan ruang. Kalau dalam tiga dimensi setiap agen punyai 6 jiran terdekat (yang bersalingtindak dengannya). Namun secara prinsipnya, rakan salingtindak seorang agen mungkin kurang atau lebih daripada itu. Terutama dalam dunia komunikasi elektronik, 'rakan terdekat' mungkin puluhan atau ratusan. Dan kejiranan ini boleh berbeza daripada agen ke agen lain.

Jadi rangkaian ialah pemerihalan struktur salingtindak yang lebih umum. Dalam rangkaian, nod-nod mungkin berlainan. Pautan-pautan rangkaian juga mungkin berlainan. Kelainan nod dan pautan bukan sahaja dari kekuatan pasif, namun mungkin juga dari segi jenisnya.



*Contoh kekisi 3 dimensi (kiri), dan contoh rangkaian yang kompleks (kanan).*

Rangkaian pelbagai bentuk dikaji untuk memahami struktur dalamnya, yang boleh mempengaruhi dinamik di atas nod-nodnya. Kajian rangkaian banyak diterajui oleh Reka Albert (Romania-Hungary) dan Albert-Lazslo Barabasi. Scale free,



*Hantaran Twitter oleh Barabasi di atas pertemuan semula dengan Albert pada 2018 di Paris setelah 19 tahun bersama mencipta model pembentukan rangkaian bebas skala.*

6 degree links

Epidemic

Me - Nn arch transf/corresp/.. games on networks