

## 1 — Selayang Pandang Ekonofisika

Sejarah mencatat babak baru. Tahun 1997, ranah keilmuan manusia telah bertambah dengan terbitnya istilah '*econophysics*' (ekonofisika). Istilah ini pertama kali digunakan dalam sebuah *workshop* di kota Budapest Hungaria pada bulan Juli, '*Workshop on econophysics*' (De Liso dan Filatrella, 2001, hlm. 2). Maka, mulai saat itu frasa ekonofisika tertera dan mengalir dalam bentangan peradaban manusia.

Konferensi ilmiah pertama yang membahas ini diadakan 2 tahun kemudian (1999) oleh Himpunan Fisika Eropa (*European Physical Society*) dengan tajuk *International Applications of Physics in Financial Analysis* di Dublin Irlandia dan dilanjutkan di Liège setahun berikutnya (2000) (Simanungkalit, 2002; Stauffer, 2000; Surya, 2002). De Liso dan Filatrella (2001) menyatakan bahwa beberapa buku generasi

awal yang mengupas konsep-konsep ini antara lain *An Introduction to Econophysics* oleh Mantegna dan Stanley tahun 2000, *Theory of Financial Risk: From Statistical Physics to Risk Managment* oleh Bouchaud dan Potters tahun 2000 dan *An Intoduction to High Frequency Finance* oleh Dacorragna *et al* tahun 2001.

Sebenarnya, sejarah ekonofisika tidak hanya bermula pada tahun 1997. Tahun tersebut lebih tepat jika sekedar dipandang menjadi penanda bahwa nama ekonofisika baru lahir. Acapkali, *econophysics* juga disebut dengan *phynance* (fisika keuangan). Namun, Stauffer (2000) menyatakan istilah *econophysics* jauh lebih berkembang dibanding *phynance*. De Liso dan Filatrella (2001) menyatakan bahwa kata *economics* dan *physics* dalam frasa *econophysics* merupakan cermin dari kerja para fisikawan yang mulai menerapkan fisika statistik ke dalam ranah keuangan pada masa-masa itu. Jika ditilik dengan cakupan yang lebih luas, yakni dengan memandang ekonofisika sebagai interaksi timbal balik antara ekonomi dan fisika, maka penelusuran terhadap rekam jejak ekonofisika menemukan akarnya jauh sebelum bilangan tahun tersebut.

Pada tahun 1973, Black dan Scholes memaklumkan sebuah cara baru dalam menghitung harga opsi yang adil di pasar modal dengan menggunakan model gerak Brown geometrik dan persamaan rambatan panas. Model ini sebenarnya merupakan penyempurnaan dari model yang dirancang oleh Bachelier pada tahun 1900. Pada waktu itu Bachelier menggunakan pendekatan limit jalan acak (gerak Brown).

Bahkan yang lebih mengejutkan, karya klasik Bapak Ekonomi Adam Smith (1723-1790) yang berjudul *The Principles which Lead and Direct Philosophical Enquiries; Illustrated by*

*the History of Astronomy* —sering disingkat sebagai *The History of Astronomy* saja<sup>1</sup> — secara jelas membuktikan bahwa ia menggunakan teori gerak planet untuk menjelaskan prinsip-prinsip ekonominya (De Liso dan Filatrella, 2001; Simanungkalit, 2002; Supratikno, 2002). Teorinya yang menyatakan, "fungsi pasar mirip dengan fungsi matahari dalam sistem tata surya" atau pandangannya tentang "tangan-tangan gaib" (*the invisible hands*) yang menciptakan kesetimbangan pasar (*market equilibrium*) menunjukkan betapa kuat pengaruh ini. Karenanya mudah untuk dimafhumi jika Dagun (1992) banyak menggunakan kiasan-kiasan dalam fisika di dalam bukunya yang berjudul *Pengantar Filsafat Ekonomi* demi menjelaskan konsep-konsep ekonomi.

Sedini sebelum *workshop* yang fenomenal itu, Stanley dalam *Nature* edisi 29 Februari 1996 telah mencoba memberikan takrif apa itu ekonofisika. Menurutny, ekonofisika merupakan penerapan teknik-teknik fisika untuk menyelesaikan persoalan-persoalan ekonomi.

Dengan demikian, tujuan dari ekonofisika adalah menerapkan gagasan ilmu fisika dengan sebaik-baiknya ke dalam ranah ekonomi. Bisa jadi, ekonofisika akan mengurai hukum-hukum alam dan perilaku manusia dalam gejala ekonomi, dan proses ini akan berujung pada lahirnya sebuah ekonomi baru.

Dalam konteks ini, takrif ekonofisika yang diberikan oleh Wang *et al.* (2005) menjadi takrif yang lebih rinci daripada takrif Stanley. Ekonofisika merupakan disiplin yang menerapkan dan menawarkan gagasan, metode dan model dalam fisika

---

<sup>1</sup>Bentuk penyingkatan judul karya Smith ini sebenarnya amat rancu, sebab singkatan tersebut menunjukkan seolah-olah karya Smith berisi tentang kronologis ilmu astronomi saja

statistik dan kompleksitas untuk menganalisis data-data dari gejala ekonomi.

Sebenarnya, sampai sekarang belum ada takrif yang terang mengenai ekonofisika. Kendati demikian, jumlah karya ilmiah di bidang ini sejak 1992 sampai April 2003 telah mencapai 662 dengan lebih dari 20 jurnal (Fan *et al.*, 2004).

## 1.1 Hubungan Fisika dan Ekonomi

Selain menunjukkan bahwa gagasan-gagasannya banyak diilhami oleh fisika, karya Smith *The History of Astronomy* juga menunjukkan ada tumpang tindih yang tak terduga dengan Thomas Kuhn mengenai konsep paradigma (De Liso dan Filatrella, 2001, hlm. 5-8). Merujuk pada pendapat Skinner dan Loasby, Smith merupakan perintis konsep paradigma di ekonomi (De Liso dan Filatrella, 2001) sebagaimana Kuhn di fisika (Capra, 2001).

Ternyata tidak hanya Smith yang tertarik dengan metode-metode dalam fisika. Ada sederetan ekonom yang menyusul jejak Smith, seperti Jevons, Walras, Marshall, Stigler, Kim, Lux dan pemenang anugerah nobel ekonomi 1990 Harry Markowitz<sup>2</sup>. Marshall dengan adikaryanya *The Principle of Economics* 1890 telah mengubah ilmu ekonomi politik (*political economy*)<sup>3</sup> menjadi ekonomi (*economics*) dengan model-model

---

<sup>2</sup>Karyanya yang berjudul *Portfolio Selection* dianggap merupakan titik tonggak lahirnya teori portofolio modern. Karya ini pulalah yang mengantarkannya mendapat anugerah nobel ekonomi 1990.

<sup>3</sup>Ilmu ekonomi lahir ketika Adam Smith mengeluarkan karyanya, *Wealth of Nation* 1776. Generasi setelahnya menyebut Smith sebagai pendiri madzhab klasik dalam ekonomi. Saat itu ilmu ekonomi lahir sebagai *political economy* dan bukan *economics*. Ekonomi politik adalah

yang bersifat matematis. Adikarya Marshall ini dianggap sebagai tonggak kelahiran madzhab neo-klasik (Mubyarto, 1987). Sebelumnya, Jevons dan Walras telah mempeloporinya pada 1860-an. Penetrasi model-model matematis ke dalam ilmu ekonomi saat itu dilakukan melalui fisika dan menempatkan fisika sebagai *benchmark* (tolok ukur) (De Liso dan Filatrella, 2001). Sedangkan Stigler yang berasal dari Perguruan Ekonomi Chicago memaklumkan simulasi Monte Carlo yang diterapkan untuk menelisik pasar pada tahun 1964. Kim dan Markowitz mencoba membuat model kejatuhan Wall Street 1987 yang mirip dengan model yang digunakan fisikawan. Dan penelitian Lux berdasar pada hasil kerja para fisikawan, seperti misalnya Haken (Stauffer, 2000).

Ekonomi merupakan disiplin tentang perilaku manusia yang berhubungan dengan manajemen sumberdaya, keuangan, pendapatan, produksi dan konsumsi barang-barang dan jasa (Wang *et al.*, 2005). Sehingga ekonomi biasanya diidentikkan dengan ilmu sosial. Namun dalam beberapa hal, hukum-hukum ekonomi menunjukkan keserupaan dengan ilmu alam. Meskipun ekonomi berkepentingan dengan motivasi dan keputusan manusia, namun seringkali perilaku kolektif dapat diterangkan dengan proses yang tertentu, setidaknya dengan cara statistik. Dagun (1992, hlm. 265) menguatkan bahwa aktivitas bebas manusia tidak semata-mata merupakan akibat kehendak bebas tetapi muncul dari motif-motif. Maka, motif-motif inilah yang memungkinkan untuk diterapkannya statistik.

Mengingat ekonomi selama ini dimasukkan dalam ranah

---

suatu ilmu yang membahas hubungan antara proses-proses politik dan ekonomi (Mubyarto, 1987, hlm. 7).

ilmu sosial, maka ada baiknya jika menengok pendapat 'Abdulrahim. Dalam angapannya, 'Abdulrahim memandang bahwa sebenarnya ilmu sosial adalah juga ilmu pasti (eksakta). Menurutny, dikotomi ilmu menjadi ilmu sosial dan ilmu eksakta adalah tidak tepat. Secara lengkap pendapat 'Abdulrahim dapat dilacak dalam kutipan berikut:

"Biasanya para ahli ilmu sosial menganggap hukum-hukum yang berkenaan dengan manusia, baik sebagai individu maupun masyarakat tidak termasuk hukum yang pasti. Oleh karena itu mereka memisahkan ilmu sosial dari ilmu alam dan matematika (ilmu-ilmu eksakta). Mereka mengatakan ilmu sosial tidak pasti. Padahal sebenarnya hukum-hukum sosial itupun eksak, sebagaimana diterangkan dalam Al Quran itu. Namun variabelnya sangat banyak, sama banyaknya dengan jumlah manusia di dunia ini dikalikan dengan segala macam keinginan mereka, sehingga sangat sukar diperkirakan korelasi antara variabel yang satu dengan yang lain. Mereka yang mengatakan hukum-hukum sosial yang universal itu tidak eksak, pada dasarnya karena kegagalan mereka menemukan korelasi antara variabel yang sangat banyak ini. Tetapi dengan majunya ilmu statistik sesudah mendapat bantuan komputer sekarang ini, dapat dibuktikan betapa anggapan para pakar ilmu-ilmu sosial selama ini adalah salah." ('Abdulrahim, 1997, hlm. 95)

Pencantuman kutipan di atas dalam bagian dari pembahasan ini tidak berkepentingan terhadap perdebatan dikotomi ilmu

sosial dan eksakta. Titik tekan yang hendak diajukan di sini ialah bahwa unit-unit yang berinteraksi dalam sistem ekonomi dapat didekati dengan cara pandang yang sama ketika fisikawan mengamati sistem fisis pada skala mikroskopik (Lux, 2000). Johnson (Jawa Pos, 23/09/2002) dari laboratorium Clarendon menunjukkan ada keterkaitan yang sangat kuat antara kegiatan keuangan dengan perilaku dari zarah, atom, dan molekul.

Tsallis, seperti yang ditulis oleh Kebamoto (2002), juga mempunyai kesimpulan yang paralel dengan Johnson. Menurutny, dengan statistik termodinamika, manusia dapat dimodelkan sama dengan atom dalam segala hal kecuali masalah intelegensi dan budaya. Dengan kata lain, andaikan masalah intelegensi dan budaya ini untuk sementara diabaikan, maka kelakuan manusia dapat dipandang seperti kelakuan atom. Ringkasnya, sistem ekonomi sama dengan sistem fisika.

Paradigma ini semakin menemukan kekuatannya ketika merujuk pada hakikat manusia dan benda-benda nirnyawa. Atom adalah unsur pembentuk yang sama dalam manusia, batu, gunung, air, matahari, hewan dan tumbuhan. Ibnul Qayyim (2005) menyebutkan bahwa setiap makhluk bernyawa atau nirnyawa seluruhnya mempunyai roh. Pada aras ini, maka tidak ada lagi beda antara manusia atau atom. Penyebutan manusia bersamaan dengan matahari, tumbuhan dan hewan melata dalam Kitab Suci dapat dipahami dalam kerangka tersebut.

"Apakah kamu tidak mengetahui, bahwa kepada Allah bersujud apa yang ada di langit, di bumi, matahari, bulan, bintang, gunung, pohon-pohonan,

binatang-binatang yang melata dan sebagian besar daripada manusia?" (QS Al Hajj: 18)

Beberapa ayat lain yang semakna tentang masalah ini antara lain dapat ditemui dalam Al Isra': 44, Shaad: 18, dan An Nuur: 41.

Topik penelitian yang digarap oleh Amaral *et al.* (2003) memberi kejelasan terhadap masalah ini. Dalam kajiannya, Amaral *et al.* memusatkan pada 3 jejaring, yakni jejaring ekonomi dan teknologi, jejaring sosial dan terakhir adalah jejaring fisis dan biologis. Dalam jejaring pertama dimana diteliti jalur transmisi dan lalu lintas di bandara (penumpang dan pesawat) menunjukkan bahwa keduanya mematuhi hukum pangkat. Demikian pula dalam jejaring kedua dan ketiga yang juga mematahui hukum pangkat. Pada akhirnya, kesimpulan yang didapat Amaral *et al.* dari kajian itu adalah fenomena-fenomena tersebut dapat dikiaskan dengan teori fenomena kritis (*critical phenomena*). Kesimpulan yang sama juga didapat oleh Drăgulescu dan Yakovenko (2004) yang meneliti kelakuan uang, pendapatan dan kekayaan masyarakat dengan mekanika statistik sebagai pisau telisiknya. Sedangkan Stanley *et al.* (2002) berhasil menggunakan paradigma transisi fase dan fenomena kritis untuk menerangkan kemajemukan pengaturan diri dalam ekonomi dan keuangan.

Gagasan tentang pengaturan diri ini sebenarnya banyak ditemukan di sepanjang sejarah ilmu-ilmu sosial yang digunakan untuk mendeskripsikan proses pengaturan diri kehidupan sosial. 'Tangan gaib' dalam teori ekonomi Smith dapat dikategorikan di sini. Contoh lainnya ialah '*check and balance*' dalam Undang-Undang Amerika Serikat dan hubungan tim-



bal balik tesis dan antitesis dalam dialektika Hegel dan Mark (Capra, 2001, hlm. 97).

Interaksi yang begitu erat antara fisika dan ekonomi ini membuat De Liso dan Filatrella (2001) dan Stauffer (2000) menyatakan dengan tegas bahwa ekonofisika bukanlah ranah keilmuan yang baru. Merujuk pada dua pendapat ini, maka anggapan Kebamoto (2002) dan Mart (2001) bahwa ekonofisika merupakan gagasan fisika yang baru atau bidang penelitian baru dalam fisika dapat dinilai sebagai anggapan yang kurang tepat. Pada aras ini pula, kecurigaan Mubyarto (2002) terhadap ekonofisika sehingga mengimbau LIPI dan AIPI untuk "membahas ekonofisika secara serius" dapat dilihat sebagai pendapat yang tidak mempunyai pijakan ilmiah.

## 1.2 Model Ekonofisika

Dalam konteks ekonomi, model merupakan sebuah bangunan teoritis yang menggambarkan proses ekonomi dengan seperangkat peubah (variabel) dan seperangkat hubungan kekerabatan logis dan kuantitatif antar peubah-peubah tersebut (Boediono, 1981; Wikipedia, 2005). Sebagaimana dalam ranah ilmu lainnya, maksud dari suatu model adalah menyederhanakan proses-proses yang majemuk (kompleks). Dalam pengertian yang sekarang, setiap model dalam ekonomi selalu dikaitkan dengan bentuk matematika (De Liso dan Filatrella, 2001, hlm. 10), meskipun ada juga model kualitatif seperti misalnya perencanaan skenario yang memungkinkan peristiwa-peristiwa mendatang dikerjakan dan analisis pohon keputusan non-numerik. Namun, model-model kualitatif bukanlah model yang cermat (Wikipedia, 2005).

Sebelumnya, Boediono (1981, hlm. 1-2) bahkan lebih tegas dengan menyatakan bahwa ekonom tidak lagi puas dengan jawaban bahwa "bila harga beras naik maka jumlah yang diminta akan turun". Ekonom menghendaki jawaban yang lebih rinci dan cermat, seperti "bila harga beras naik 10%, maka berapa persen penurunan jumlah yang diminta". Atau, berapa kenaikan maksimal jumlah uang yang beredar agar inflasi tidak melebihi suatu nilai tertentu.

Terkait dengan ekonofisika, sedikitnya ada 2 pendekatan (Baaquie *et al.*, 2002; Mart, 2001; Stauffer, 2000; Wang *et al.*, 2005) yang bisa digunakan untuk memodelkan dinamika perkembangan sektor-sektor ekonomi, yaitu model analisis data dan penggunaan model-model fisika sebagai model acuan. Mengacu pada pembagian fisika yang menjadi 2 kelompok: fisika teori dan fisika eksperimen (dengan fisika komputasi bisa bekerja pada keduanya), Stauffer (2000) menyebut pendekatan pertama sebagai ekonofisika eksperimen dan pendekatan kedua sebagai ekonofisika teori. Sedangkan Baaquie *et al.* (2002) menyebut pendekatan pertama sebagai pendekatan *bottom up* dan pendekatan kedua sebagai pendekatan *top down*.

### **1.2.1 Model Analisis Data**

Di dalam fisika, metode statistik (lebih tepat disebut fisika statistik) digunakan ketika berhadapan dengan masalah interaksi antarsub-unit dengan jumlah sangat besar, sementara interaksi individual antarsub-unit itu sendiri sangat sulit untuk dijelaskan. Dengan demikian, metode ini memberikan prediksi sifat kolektif dari kumpulan sub-unit.

Kritik yang dilontarkan oleh ilmuwan pada metode ini menyangkut keabsahan penggunaan metode fisika pada masalah-

masalah sosial yang dikatakan memiliki jumlah sub-unit sangat terbatas.

Di dalam termodinamika, di mana fisika statistik sangat sukses untuk menjelaskan fenomena alam, jumlah sub-unit yang dibahas umumnya dapat mencapai  $10^{20}$ . Meski demikian, simulasi-simulasi komputer untuk gas dan zat cair sudah menunjukkan hasil yang sangat memuaskan untuk sistem yang terdiri dari 20 hingga 30 atom saja, yang menunjukkan bahwa metode ini sudah dapat bekerja untuk sistem-sistem kecil.

Kritik lain adalah lagi-lagi menyangkut perbedaan antara manusia dan sistem zarah (elektron, nukleon, atom, atau molekul) yang dibahas fisika statistik, karena manusia dikatakan memiliki daya adaptasi terhadap fluktuasi-fluktuasi ekonomi, sedangkan kumpulan zarah akan terus patuh mengikuti hukum alam jika terjadi fluktuasi pada keadaan di sekitarnya.

Kritik ini ternyata tidak sepenuhnya benar, karena penelitian dengan metode fisika statistik ternyata cukup sukses jika diterapkan pada masalah non-coding DNA, inflasi paru-paru manusia, interval denyut jantung, bahkan pada masalah perkembangan kota dan beberapa sifat hewan, yang tentu saja memiliki daya adaptasi tersendiri untuk mengantisipasi perubahan yang terjadi dengan lingkungannya (Amaral *et al.*, 1999). Model ekonofisika dengan analisis data ini misalnya dapat dijumpai dalam pustaka Drăgulescu dan Yakovenko (2004), Amaral *et al.* (2003), dan Stanley *et al.* (2002).

### 1.2.2 Model acuan

Dalam model ini, model-model yang telah jamak dikenal dalam fisika dimanfaatkan sebagai acuan untuk memodelkan

sistem maupun gejala ekonomi. Wang *et al.* (2005) menyebutkan bahwa model spin telah digunakan oleh Krawiecki *et al.* untuk menerangkan pengambilan keputusan pemain pasar modal dan Wu *et al.* menggunakannya untuk menerangkan kelakuan manusia dalam aktivitas ekonomi yang lain. Dalam model tersebut, status agen merupakan salah satu dari  $\{1, 0, -1\}$  yang ditafsirkan sebagai membeli, menunggu dan menjual atau hanya salah satu dari  $\{1, -1\}$ . Sehingga keadaan status dari sistem keseluruhan dengan  $N$  agen adalah  $\{S_1, S_2, S_3, \dots, S_N\}$ . Keuntungan setiap agen ditentukan oleh fungsi hasil  $E(\vec{S}, \vec{J}, IEs)$ , dengan  $\vec{J}$  adalah interaksi terus-menerus dari seluruh transaksi dan  $IEs$  merupakan peubah internal seperti harga saham atau informasi eksternal seperti lingkungan dan rekam jejak perusahaan. Karena setiap agen ingin memaksimalkan keuntungannya, maka

$$\omega_i(S_i(t) \rightarrow S_i(t+1)) \sim e^{\frac{\Delta E_i}{T}} \quad (1.1)$$

dengan  $T$  merupakan koefisien evaluasi rerata, yang berarti pengaruh sebuah keputusan untuk suatu keuntungan. Bentuk keputusan agen ini muncul dari distribusi ansambel dalam mekanika statistik.

Model gas ideal juga digunakan sebagai model acuan dalam ekonofisika (Drăgulescu dan Yakovenko, 2000). Model ini mencoba menerangkan persaingan dan perkawanan antar perusahaan atau antar individu atau agen. Di sini, pertukaran acak kekayaan satu dengan lainnya dipandang seperti pertukaran acak tenaga dalam gas ideal. Sehingga distribusi kesetimbangan akan berbentuk eksponensial.

Lux (2000) bahkan melakukan sebuah gebrakan dengan

menghadapkan hipotesis pasar efisien *vis a vis* hipotesis pertukaran agen. Gagasannya terinspirasi dari hasil kajian fisika statistik, bahwa sistem fisis yang terdiri dari banyak zarah yang berinteraksi akan mematuhi hukum universal (*scaling law*) yang bebas dari detil mikroskopik. Ini dapat disepandikan dalam ekonomi keuangan dimana unit-unit yang berinteraksi adalah pemain pasar dan *scaling law* yang bekerja adalah kenyataan yang selalu mengikuti tren semisal klaster volatilitas. Hipotesis pasar efisien memegang peran kunci dalam teori keuangan. Hipotesis ini merupakan andaian penting dalam beberapa teori keuangan seperti teori struktur modal, model penentuan harga aset (*Capital Asset Pricing Model*/CAPM) dan model penentuan harga opsi (Sartono, 1996).

Model yang lain misalnya penggunaan persamaan difusi (Baaquie *et al.*, 2002) yang secara gemilang telah ditunjukkan oleh Black dan Scholes ketika mendesain model penentuan harga opsi. Selain persamaan difusi, model Black-Scholes juga menggunakan gerak Brown geometrik sebagai model acuannya. Model Black-Scholes merupakan salah satu contoh dari model ekonomi standard (Ilinski, 1999; Wikipedia, 2005). Bahkan, model ini berhasil memenangkan anugerah nobel ekonomi 1997. Maka, dapat dipahami jika Sembel dan Baruno (2002) menyebutnya sebagai sebuah teori besar.

### 1.3 Topik Ekonofisika

Dari uraian di muka, tampak bahwa ranah ekonofisika teramat luas untuk dikaji. Aneka topik ekonofisika yang tersedia tidak mungkin dikupas semua dalam kesempatan ini. Karenanya,

buku kecil ini perlu membatasi dan menyempitkan topik yang akan dikaji.

Masalah yang akan menjadi topik ialah model penentuan harga opsi. Mengapa opsi? Opsi (*option*) merupakan produk derivat yang menyatakan hak seseorang (namun bukan kewajiban) untuk membeli saham atau aset lainnya dengan harga tertentu sebelum atau pada saat yang telah dijadwalkan.

Opsi merupakan surat berharga yang istimewa. Sebab, jika dibandingkan dengan aset keuangan yang lain, investasi dalam opsi membutuhkan modal yang jauh lebih kecil tetapi menjanjikan keuntungan yang jauh lebih besar. Andai pun mengalami kerugian, maka kerugian yang diderita karena investasi dalam bentuk opsi jauh lebih kecil dibanding jika berinvestasi pada aset keuangan lainnya. Selain itu, opsi juga bisa digunakan untuk mempertahankan portofolio investasi. Bahkan, Weston dan Copeland (1995) menulis bahwa seluruh kontrak keuangan dapat disederhanakan hanya menjadi 4 surat berharga saja, 2 diantaranya adalah opsi.

Namun, sebagai produk derivat yang sepenuhnya bergantung pada surat berharga acuan dan kesepakatan dalam kontrak, harga opsi selalu berubah-ubah terhadap waktu. Maka, pertanyaan mendasar yang lekat dengan opsi adalah *berapa harga yang pantas (adil) untuk dikeluarkan oleh pembeli opsi dan siasat investasi seperti apa yang harus dipasang oleh penjual opsi selama masa kontrak untuk meminimalkan risiko kerugian*. Pada gilirannya, jika harga opsi ini berhasil dirumuskan secara eksak maka model penentuan harga opsi akan menjadi semacam *lingua franca* bagi semua pemain di pasar saham.

Ada banyak opsi yang dikenal di pasar saham. Kita ak-

an membatasi kajian pada jenis opsi Eropa dengan surat berharga acuan adalah saham. Opsi Eropa merupakan opsi yang hanya bisa dilaksanakan pada saat jatuh tempo saja. Model ekonofisika yang akan dipakai adalah model kedua, yakni menggunakan model dalam fisika sebagai acuan untuk menurunkan model penentuan harga opsi.

Model penentuan harga opsi merupakan topik penting dalam manajemen keuangan dan investasi <sup>4</sup>. Kajian mengenai harga opsi dipelopori oleh Bachelier dalam disertasi doktor-nya di Universitas Sorbonne Perancis tahun 1900. Bachelier menghitung harga opsi secara analitik dengan menggunakan gerak Brown dan andaian pengembalian (*return*) saham yang memiliki distribusi normal.

Hakiman (2005) mengatakan bahwa persamaan Bachelier dapat ditulis sebagai berikut

$$C = SN \left( \frac{S - K}{\sigma \sqrt{T - t}} \right) - KN \left( \frac{S - K}{\sigma \sqrt{T - t}} \right) + \sigma \sqrt{T - t} N \left( \frac{K - S}{\sigma \sqrt{T - t}} \right) \quad (1.2)$$

dengan  $S$  : harga saham saat ini,  $K$  : harga laksana saat jatuh tempo dan  $N$  : kumulatif distribusi normal.

Namun, penemuan Bachelier ini menimbulkan masalah yang serius yaitu dimungkinkannya harga negatif baik pada harga saham maupun harga opsi. Meskipun begitu, pijakan yang diletakkan Bachelier merupakan andaian penting dalam

---

<sup>4</sup>Lihat kepustakaan Basuki *et al.* (1997); Berlianta (2005); Brigham dan Houston (2001); Fabozzi (2000); Hakiman (2005); Halim (2003); Hull (1989); Husnan (1995); Kamaruddin (1996); Keown *et al.* (2000); Rutterford (1993); Sartono (1996); Sharpe *et al.* (1999); Sundjaja (2003); Weston dan Copeland (1995); Yuliati *et al.* (1996)

perkembangan model penentuan harga opsi selanjutnya. Sejarah perkembangan model harga opsi sejak Bachelier dapat dilihat dalam pustaka Hakiman (2005) dan Hull (1989).

Perkembangan yang paling menonjol adalah ketika Black dan Scholes memaklumkan model penentuan harga opsinya pada tahun 1973. Bisa dikatakan model Black-Scholes inilah yang kemudian menjadi pijakan bagi model-model berikutnya. Model Black-Scholes kemudian dikembangkan oleh Merton, Ingersoll, Garman dan Kohlagen, Geske, Roll dan Whaley (Copeland dan Weston, 1988; Hakiman, 2005; Hull, 1989).

Sampai sekarang, hampir seluruh buku-buku teks manajemen keuangan dan investasi yang dirujuk sebagai pustaka dalam buku ini hanya menyebut ada 2 model penentuan harga opsi, yaitu model Black-Scholes dan model binomial yang dibangun oleh Cox dan Ross 3 tahun setelah Black-Scholes. Dibandingkan dengan model Black-Scholes, model binomial tidak mengalami perkembangan yang pesat. Bahkan, model Black-Scholes merupakan contoh yang baik dari model ekonomi (Wikipedia, 2005).

Selain itu, model Black-Scholes juga bisa didekati dengan beragam teknik dalam fisika. Ilinski, sebagaimana dikutip oleh Mart (2001), mengklaim bahwa persamaan model Black-Scholes bisa diturunkan dengan konsep kuantum. Untuk melompat dari dunia kuantum ke pasar saham Ilinski mengganti medan elektromagnetik yang mengatur interaksi antar zarah bermuatan dengan medan arbitrase (*arbitrage*) yang menjelaskan perubahan harga opsi serta saham sebagai fungsi waktu.

Baaquie *et al.* (2002) menggunakan manipulasi matematika untuk mengubah persamaan Black-Scholes menjadi per-



samaan yang mirip dengan persamaan turunan Schrödinger yang merupakan persamaan dasar dalam mekanika kuantum non relativistik. Teknik yang dipakai Baaquie adalah dengan menggunakan integral lintasan Feynmann.

Dalam manajemen keuangan dan investasi, opsi mempunyai kedudukan yang sangat penting. Ini tercermin dalam ungkapan Weston dan Copeland (1995) yang menegaskan bahwa seluruh jenis kontrak keuangan pada dasarnya merupakan gabungan dari hanya 4 bentuk surat berharga, yaitu: saham, obligasi bebas risiko, opsi beli dan opsi jual. Atau, jika disempitkan hanya mejadi saham, obligasi dan opsi saja. Bahkan sebelum Weston dan Copeland (1995), Cox, Ross dan Rubinstein dalam *Journal of Financial Economics* (Copeland dan Weston, 1988, hlm. 240) telah mengemukakan bahwa model penentuan harga opsi dapat bekerja di hampir semua ranah keuangan. Hampir semua surat berharga perusahaan dapat ditafsiri dengan opsi beli dan opsi jual. Pernyataan-pernyataan ini pada akhirnya hanya membuat model penentuan harga opsi semakin bertenaga. Karenanya, pemahaman yang baik mengenai model penentuan harga opsi Black-Scholes merupakan jalan lurus untuk masuk ke ranah ekonofisika. Dari sini pemandangan ekonofisika akan segera terbentang.