

Ramalan Deterministik dan Probabilistik tentang Gejala dan Perangai Alam

Benny Suprpto B.

Department of Physics and
Mathematics
Parahyangan Catholic
University, Bandung, Indonesia

Kalau disimak dari perilaku manusia, nampaknya ramalan akan terjadinya peristiwa yang masih akan datang (entah dalam waktu dekat, maupun dalam waktu yang lebih panjang lagi) merupakan salah satu dambaan untuk diketahuinya. Dalam kehidupan manusia secara biologis ramalan itu juga menyangkut gejala dan perilaku alam yang tentunya ikut berpengaruh kepadanya.

Contoh :

Gejala terjadinya gerhana matahari total, yang dapat diamati di siang hari dari beberapa lokasi di Jawa Timur tahun 1983, sudah disebarluaskan informasinya oleh Departemen Pendidikan dan Kebudayaan dengan bantuan para astronom kita beberapa tahun sebelumnya. Seingat saya sudah diterbitkan buku kecil tentang akan terjadinya peristiwa tsb. dengan

rincian detik demi detik waktunya, serta lokasi-lokasi terbaik untuk dapat mengamatinya, sebelum tahun 1980.

Gejala alam tadi ternyata benar-benar terjadi, dan tepat waktu, sesuai dengan ramalan yang dilakukan beberapa tahun sebelumnya. Berduyun-duyun pengamat dari manca negara mendatangi lokasi itu untuk melakukan pemotretan. Bagi mereka, gejala alam yang tidak terlalu sering terjadi itu, jika digarap secara teliti dapat memberi informasi tentang apa yang terjadi di matahari.

Tentu saja, gejala alam semacam itu tidak berdampak besar bagi kebanyakan orang, kecuali terasa bahwa saat-saat itu langitnya redup untuk beberapa waktu di siang hari. Bagian terbesar warga yang ada di lokasi tersebut hanya terheran-heran akan kejadian yang tidak seperti hari-hari biasanya. Reaksinya tentu bermacam-macam. Ada yang senang mengamatinya lewat pantulan permukaan air dalam bejana, sesuai dengan anjuran. Ada yang membuat ceritera bahwa “mataharinya sedang ditelan oleh raksasa”. Ada pula yang begitu takut dan sengaja bersembunyi masuk rumah dan menutup semua jendelanya agar tidak menyaksikannya.

Lain halnya dengan malapetaka “tsunami” yang terjadi di sejumlah tempat di Indonesia beberapa tahun yang silam, yang dampaknya membawa kesengsaraan bagi manusia yang tertimpa gejala alam tersebut. Begitu pula halnya dengan gempa bumi yang kadang kala datang mendadak dan menimbulkan malapetaka. Kini dipertanyakan : *mengapa gejala-gejala alam semacam itu tidak dapat diramalkan sebelumnya, agar dapat dilakukan persiapan-persiapan untuk menghindari jatuhnya korban ?* Aneh rasanya, yang jauh-jauh letaknya seperti matahari, bulan dan planet-planet dapat diramalkan letaknya; tetapi gejala yang ada di bumi sendiri tidak dapat diramalkan.

A. Memahami keterbatasan hukum tentang Perangai Alam

Memang manusia telah berhasil membuat rumusan sejumlah perangai

alam dalam ungkapan matematika („bahasa kuantitatif“) yang bisa diandalkan „validity“nya. Hukum-hukumnya Newton meskipun berawal dari sikap „ingin tahu“ tentang perangai obyek-obyek di langit ternyata juga „valid“ untuk gejala-gejala yang ada di bumi ini. Sikap ingin tahu dari sejumlah warga dunia yang bergabung dalam „paguyuban ingin tahu“ telah menghasilkan aturan-aturan alam yang handal tidak hanya dalam lingkup perangai mekanik, tetapi juga perangai obyek kelistrikan, sampai dengan ungkapan tentang struktur materi yang ada di alam ini.

Kalau diungkapkan dalam bahasa sehari-hari, apa yang disebut „hukum-hukum“ tentang perangai alam pada dasarnya berupa aturan kuantitatif yang bunyinya :

Jika pada suatu saat, ada informasi hasil pengukuran besaran-besaran tertentu, maka hukum perangai alam tersebut dapat meramalkan apa yang terjadi pada besaran-besaran tsb. pada waktu-waktu berikutnya.

Dengan perkataan lain ada syarat yang harus dipenuhi agar kita dapat melakukan ramalan gejala apa yang akan terjadi. Tanpa informasi dari hasil pengukuran obyek alam pada suatu saat, rumus-rumus aturan alam itu tidak akan sanggup membuat ramalan yang bisa diandalkan.

Pada contoh mengenai gerhana matahari total, atau obyek-obyek benda lainnya, hukum Newton memerlukan informasi hasil pengukuran **lokasi** dan **kecepatan** gerak obyek alam tersebut. Hal itu dapat dengan mudah dilakukan lewat teropong bintang, bahkan informasinya dapat diperoleh hari demi hari kalau diperlukan. Dengan demikian aturannya Newton dapat dipakai untuk membuat ramalan yang tepat tentang kejadian-kejadian selanjutnya, meskipun dalam selang waktu beberapa tahun sebelumnya.

Lain halnya dengan „tsunami“ yang sumber penyebabnya ada di tengah samudera dan kedalamannya jauh dibawah permukaan laut. Dengan ukuran samudera yang sangat luas dan kedalaman dasarnya di luar

jangkauan pengamatan langsung maka hingga saat ini belum tersedia informasi yang lengkap. Dalam keadaan semacam itu aturan-aturannya Newton, dll. tidak akan sanggup melakukan ramalan yang handal.

B. Bekerja dengan obyek yang jumlahnya sangat banyak

Selain mempertanyakan perangai benda-benda langit, warga “paguyuban ingin tahu” juga mempertanyakan tentang materi yang kita jumpai di bumi ini. Mengapa ragamnya ada banyak? Mengapa materi yang satu kadang-kadang kalau dicampur dengan materi yang lain bisa menjadi materi yang lain lagi, seperti yang sekarang kita kenal sebagai Ilmu Kimia?. Akhirnya, bisa disimpulkan bahwa pelbagai wujud materi yang kita jumpai di bumi ini terdiri dari atom-atom yang jenisnya tidak lebih dari 300 macam saja. Pelbagai jenis materi yang kita jumpai sehari-hari itu terdiri atas atom, atau kumpulan beberapa atom yang saling terikat dan disebut molekul.

Sayangnya, atom-atom itu ukurannya begitu kecil sehingga ada di luar “daya urai” kemampuan indera penglihatan manusia. Selama alat pelacaknya yang sanggup ditangkap oleh penglihatan kita adalah cahaya, maka kita tak pernah dapat mengamati atom-atom itu, meski dibantu oleh alat mikroskop dengan lensa-lensa yang sangat “kuat” sekalipun.

Lalu dipertanyakan : *bagaimana kalau keberhasilan kita untuk membuat ramalan akurat tentang benda-benda langit (mekanikanya Newton) kita terapkan pada gerakan atom-atom atau molekul-molekul ini ?*

Upaya semacam itu sudah dirintis sejak sebelum abad ke sembilan belas. Sayangnya wujud nyata dari materi yang terjangkau oleh pancaindera manusia berupa **kumpulan** dari atom atau molekul yang **sangat banyak** jumlahnya. Ada yang membentuk obyek yang wujudnya padat, ada yang wujudnya cair, ada pula yang wujudnya gas. Wujud gas tentunya paling mudah garapannya karena jarak antara molekul yang satu dengan yang lain tidak terlalu dekat. Tetapi sekedar sebagai gambaran :

jumlah molekul 1 liter gas	: 1000 000 000 000 000 000
jumlah penduduk bumi	: 4 000 000 000
jumlah penduduk Indonesia	: 250 000 000

Jadi kalau kita belum sanggup membuat kartu penduduk untuk semua penduduk bumi, bagaimana caranya bisa memantau gerak semua molekul yang ada dalam 1 liter gas ?

Ah, sekarang sudah ada alat penyimpan data yang sanggup memuat beberapa tera-byte, artinya (tera =1 000 000 000 000) hanya diperlukan satu juta alat semacam itu; barangkali suatu saat kelak dapat dibuat alat yang setara dengan sejuta kali kemampuan alat komputer saat ini.

Tetapi sekali lagi, hukumnya Newton bisa digunakan untuk meramal secara akurat hanya kalau ada informasi tentang lokasi dan kecepatan obyeknya pada suatu saat sebelumnya. Lalu bagaimana caranya membuat pengamatan tentang masing-masing lokasi dan kecepatan molekul sebanyak itu ? Memperoleh data hasil pengamatan untuk satupun tidak sanggup, apalagi data untuk molekul sebanyak itu.

Di sini kita belajar untuk mawas diri, mengurangi hasrat untuk mengetahui apa saja yang kita ingin tahu. Seorang menteri kesehatan, mendapat laporan tentang wabah penyakit demam berdarah. Tentunya ia harus segera mengambil keputusan tentang apa yang harus dilakukannya. Untuk Indonesia yang penduduknya sekitar 250 juta orang, menteri tersebut tentu tidak meminta rincian daftar siapa saja yang terserang penyakit itu. Dia cukup memperoleh data tentang berapa orang yang terkena dan di wilayah mana saja. Tentu saja informasi semacam itu lebih "miskin" dibandingkan dengan informasi yang lebih rinci dalam bentuk daftar nama dan alamat mereka terkena wabah itu. Meskipun demikian bagi seorang menteri kesehatan data „statistik“ semacam itu sudah dianggap cukup memenuhi apa yang ia perlukan untuk mengambil keputusan.

Warga “paguyuban ingin tahu” itupun akhirnya mengembangkan arena baru yang dikenal dengan nama “Mekanika Statistik”. Mengingat keterbatasan daya jangkau pancaindera manusia, mungkin informasi yang diperlukan cukup berbentuk berapa jumlah molekul yang pada suatu saat berada di lokasi tertentu. Itupun harus diartikan sebagai nilai rata-ratanya, karena molekul-molekul itu masing-masing bergerak dengan sangat cepat dan pindah tempat dalam selang waktu yang lebih kecil daripada selang-waktu „tidur“nya mata kita ($1/20$)detik. Begitu pula dengan informasi tentang kecepatannya. Yang diperlukan hanya informasi berapa banyak molekul yang punya kecepatan tertentu tanpa peduli itu molekul yang mana.

Untuk memperoleh informasi kuantitatif semacam itu, tanpa harus menggunakan hasil pengukuran, diperlukan asumsi secara a priori bahwa setiap molekul punya peluang yang sama untuk menempati sebuah lokasi, ataupun memiliki kecepatan tertentu. Ungkapan teknisnya lainnya untuk asumsi semacam itu adalah sifat acak („random“) dari setiap molekul yang terdapat dalam gas tersebut.

Apa asumsi semacam itu rasional ?

Kalau dua kesebelasan sepak bola belum sepakat tentang siapa yang harus mendapat kesempatan melakukan tendangan pertama, maka diadakan undian, misalnya dengan melempar keping uang logam. Masing-masing diminta memilih, yang satu memilih “atas” yang lain memilih “bawah”. Keping uang dilempar lalu dilihat hasilnya. Putusan tunduk pada hasil lemparan tersebut. Keduanya setuju, itu dirasakan cukup “adil”, sebab kalau proses melempar keping uang itu dilakukan berulang-ulang sebanyak 10 000 kali, maka **diperkirakan** 50% akan memunculkan “atas” dan 50% akan memunculkan “bawah”. Itu kemudian diartikan sebagai, “atas” **memiliki peluang sama** dengan “bawah” sebagai hasil sebuah lemparan. Anggapan itu “masuk akal”, meskipun kalau kita hanya

melempar sebanyak 20 kali, pasti tidak akan selalu menemukan 10 kali “atas” dan 10 kali “bawah”. Artinya kalau harus membuat ramalan pada hasil 20 kali lemparan kita hanya dapat **memperkirakan**, tidak **memastikan** bahwa hasilnya 10 “atas” dan 10 “bawah”. Ramalan semacam ini kita sebut ramalan “**probabilistik**”, untuk membedakannya dengan ramalan “deterministik” seperti yang diperoleh dari perhitungan menurut aturan hukum alam yang handal.

Penalaran menggunakan model matematika semacam ini ternyata dapat menjelaskan perangai yang dilukiskan oleh aturan empirik yang ditemukan berdasarkan hasil pengukuran eksperimen terhadap obyek makroskopik kumpulan molekul dalam wujud gas, dalam batas-batas ketelitian yang sanggup dilaksanakan. Ini memberi harapan bahwa pendekatan lewat cara statistik dapat digunakan sebagai alat peramal, meskipun sifatnya “probabilistik”.

C. Alam Punya Kecenderungan tertentu dengan berjalannya waktu

Kalau kita punya air bersih segelas, lalu kita teteskan tinta berwarna biru, maka setelah selang waktu tertentu tetesan warna biru itu menyebar ke dalam airnya, tanpa kita harus melakukan apa-apa. Pertanyaannya : bagaimana kalau prosesnya dibalik, *dapatkah dari campuran tersebut kita memisahkannya kembali menjadi air bersih dan setetes tinta?* Lewat teknologi jaman ini proses sebaliknya mungkin bisa dilakukan, tetapi untuk itu diperlukan usaha tertentu. Alamnya tidak akan secara spontan melakukan pemisahan semacam itu. Dengan kata lain, proses yang alami pada dasarnya tidak „reversible“.

Contoh lain. misalkan kita membuat rekaman video seorang anak menendang bola dan arahnya salah sehingga mengenai kaca jendela rumah yang ada di sekitar tempat itu. Kacanya pecah dan pecahan kacanya terserak

di lantai. Kalau rekaman video ini kita putar dalam arah sebaliknya dimulai dengan gambar terakhir, yang tampak adalah pecahan kaca di lantai terbang dan mengumpul menjadi kaca jendela, dan bolanya bergerak kembali ke kaki anak. Reaksi penonton video tadi pasti akan mengatakan bahwa urutan gejala yang tampak dari pemutaran video tadi mustahil sebagai proses yang alami.

Ya, itu adalah aturan alam yang senang atau tidak senang harus kita terima sebagai kenyataan. Mungkin yang perlu dicari adalah apakah perantai semacam itu dapat dijelaskan dengan menggunakan hukum-hukum alam yang sudah kita kenal "validity"-nya.

Kalau saat ini masyarakat sudah lazim menggunakan istilah "energi" yang tadinya hanya digunakan dalam lingkungan warga „paguyuban ingin tahu“, ada istilah lain yang rasanya belum populer di masyarakat luas, yaitu "entropi". Dalam bahasa populernya "entropi" pada dasarnya adalah ukuran tingkat "kemiskinan informasi". Untuk dapat meramalkan gerhana matahari total kita memerlukan informasi yang "valid" yaitu hasil pengukuran lokasi dan kecepatan benda-benda langit tersebut. Informasi itu dapat disajikan dan karenanya kita dapat membuat ramalan yang akurat mengenai kapan akan terjadi gerhana matahari semacam itu, serta di wilayah bumi bagian mana akan dapat diamati.

Lain halnya dengan cara statistik ketika menggarap kumpulan atom atau molekul. Kita memakai asumsi bahwa sebuah atom atau molekul punya peluang sama untuk berada di setiap lokasi dalam tabung gas itu. Makin besar volume tabungnya makin tidak pasti atom atau molekul itu ada dimana, artinya makin „miskin“ informasi yang kita gunakan untuk membuat penalaran berikutnya. Dalam bahasanya "entropi" alam tempat hidup biologis kita ini cenderung untuk menaikkan nilai „entropi“-nya.

Kita juga dapat membahasakan „keteraturan“ sebagai kekayaan informasi, karena „teratur“ membuat kita yakin dimana barang yang kita inginkan itu secara pasti berada.

Artinya, kecenderungan alam menaikkan nilai „entropi“ berarti kecenderungan alam untuk menambah tingkat ketidakteraturan.

Pada contoh air dan tetesan tinta biru, proses yang sifatnya spontan adalah menyebarkan butir-butir warna biru tadi ke ruangan yang lebih luas. Kalau ingin membalikkan prosesnya mungkin bisa tetapi memerlukan upaya tertentu; istilahnya teknisnya diperlukan energi.

Pada contoh kaca jendela pecah karena terkena bola, pecahan kaca yang terserak di lantai itu tingkat „keteraturannya“ lebih kecil daripada kaca jendela yang masih utuh. Rasanya tidak pernah terjadi di alam ini pecahan kaca jendela yang terserak tak karuan letaknya itu tiba-tiba kembali menjadi kaca jendela yang utuh.

Asas kecenderungan alam untuk menaikkan nilai „entropi“nya juga dapat diterapkan pada kasus kehidupan sosial. Misalnya, anjuran agar kita membuang sampah di tempat-tempat yang sudah ditentukan adalah salah satu upaya untuk mengurangi terjadinya kenaikan „entropi“ sampah. Tanpa anjuran semacam itu lokasi sampah yang jumlahnya semakin banyak itu akan semakin menaikkan ketidak pastian tentang *sampah yang mana ada di lokasi mana* sehingga nilai „entropi“ sampah secara alami akan bertambah besar.

D. Teori Kuantum bertolak dari ketidak-pastian alami

Ketidak sanggupan kita melakukan pengukuran lokasi pada obyek yang sangat kecil seperti atom atau molekul ternyata punya akar yang lebih dalam lagi. Di awal abad ke duapuluh, gejala fotolistrik disimpulkan oleh Einstein sebagai indikator bahwa cahaya hanya akan terpancar dalam bentuk paket-paket energi yang sifatnya diskrit. Ia menerima hadiah Nobel atas karyanya itu. Salah satu konsekuensinya diungkap oleh Heisenberg, yaitu bahwa pengukuran obyek skala nanometer (atau yang lebih kecil), tidak mungkin sama-sama akurat untuk besaran lokasi dan besaran momentumnya. Bila nilai lokasinya akurat maka nilai momentumnya

(kecepatannya) tidak lagi akurat, begitu pula sebaliknya. Ada besaran tertentu yang dicanangkan oleh Planck beberapa tahun sebelumnya yang menjadi ambang batas ketidakpastiannya.

Fakta semacam itu (yang tentunya telah menjalani ujian „validity“) membuat teorinya Newton tidak lagi dapat dipakai untuk menggarap obyek-obyek kecil seperti molekul, atom, ataupun „partikel“ lain yang ukurannya lebih kecil lagi. Hukum-hukumnya Newton yang telah sanggup meramalkan gerhana matahari total dengan tingkat ketelitian detik demi detik tidak lagi tepat kalau digunakan untuk menggarap perandai obyek kecil ini.

Sejak saat itu banyak upaya untuk membangun penggantinya teori Newton. Hanya harus diingat bahwa teori Newton telah terbukti handal untuk menangani obyek-obyek alam yang ukurannya cukup besar. Teori baru yang dihasilkan tidak boleh menghapus teori Newton, tugasnya harus memperluas jangkauan „validity“-nya dan harus kembali menjadi teorinya Newton jika ukuran obyek yang digarap cukup besar.

Heisenberg seorang pakar matematika mengembangkan teori baru itu dengan menggunakan jenis matematika lain. Kalau Newton menggunakan „bahasa“ yang sekarang dikenal dengan nama „kalkulus“, Heisenberg menggunakan „bahasa“ yang dikenal sebagai „aljabar matriks“.

Schrodinger adalah orang lain yang juga berhasil merumuskan aturan-aturan yang sanggup menangani perandai obyek-obyek alam yang kecil itu. Ia tetap menggunakan bahasa „kalkulus“, tetapi ungkapannya berbentuk gelombang, bukan gelombang suara, atau gelombang elektromagnetik, tetapi gelombang yang amplitudonya adalah „peluang“, mirip dengan yang mendasari pendekatan statistik. Dalam ungkapan semacam itu tidak ada lagi lokasi yang pasti, ataupun kecepatan yang pasti, (seperti halnya dengan ungkapan hukum-hukumnya Newton); yang ada hanya peluangnya („probability“).

Feynman adalah salah seorang yang ikut merentang teori kuantum ini sehingga mencakup gejala kelistrikan (elektrodinamika kuantum). „Bahasa“ yang digunakannya sedikit berbeda dengan Heisenberg maupun Schrodinger, tetapi hasil akhirnya melukiskan perangai yang sama. Ada banyak hal-hal yang „aneh“ tentang perangai obyek-obyek kecil ini, bahkan ada bertolak belakang dengan intuisi kita „counter intuitive“ selama ini. Feynman menyebut mekanika kuantum sebagai „The weird and wonderful world of quantum mechanics“.

Mungkin ada yang bertanya : *kapan perangai obyek-obyek kecil itu penuh dengan ketidakpastian, bagaimana kita bisa membuat rekayasa dengan obyek-obyek tersebut ?*

Perlu diingat bahwa ketidakpastian tidak berarti kita samasekali tidak tahu, istilah „peluang“ bermakna masih ada kemungkinan. Bahkan ada kalanya nilai „peluang“nya cukup besar (mendekati 1). Rekayasa berbasis obyek skala nanometer ini sudah berkembang jauh dan banyak yang sudah dimanfaatkan untuk kesejahteraan masyarakat. Bidang kedokteran dan analisa material mengenal alat yang namanya „Nuclear Magnetic Resonance Imaging“, kita juga mengenal teknik penyembuhan penyakit kanker dengan radiasi dari bahan radioaktif. Kantor-kantor kita bergaul sehari-hari dengan LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) printer. Mesin komputer kita menggunakan processor ukuran kecil yang memuat jutaan transistor di dalamnya. Alat-alat itu semua adalah hasil rekayasa yang didasarkan pada perangai obyek-obyek sangat kecil tadi, yang hanya dapat digarap lewat teori kuantum.

Nampaknya di masa mendatang akan lebih banyak kemudahan kehidupan sosial akan dibantu oleh produk rekayasa yang didasarkan pada perangai alam obyek-obyek skala nanometer ke bawah, yang selama ini hanya dapat digarap lewat teori kuantum. Bahkan badan kita sendiri secara biologis terdiri atas obyek-obyek kecil itu.