

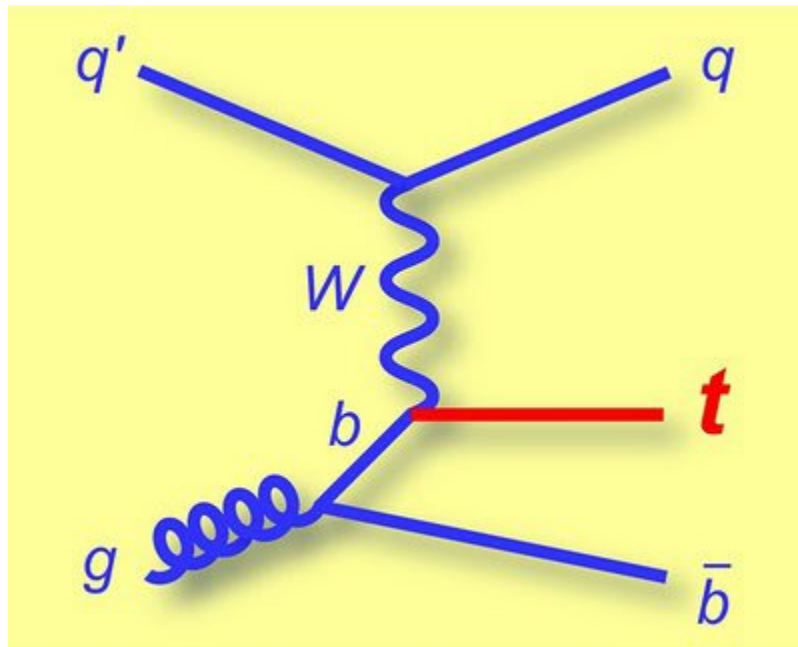
# THE GRAND DESIGN

Stephen Hawking – Leonard Mlodinow

Di bawah ini sebuah ringkasan buku Stephen Hawking dan Leonard Mlodinow, *The Grand Design* (New York: Bantam Books, 2010). Diringkas oleh saya sendiri (Ioanes Rakhmat). Buku ini telah dibedah dalam acara diskusi buku yang diadakan oleh Freedom Institute, Jalan Proklamasi No 41, Jakarta Pusat, pk. 19.00-22.00 WIB, 17 Desember 2010. Buku ini terdiri atas delapan bab; ringkasan setiap babnya diberikan di bawah ini (dengan judul setiap bab dalam bahasa Inggris dipertahankan). Silakan *copy-paste* untuk keperluan pribadi atau di-*share* seluas-luasnya. Terjemahan Indonesia buku ini (penerjemahnya saya tidak kenal) sudah terbit di awal 2011, dengan penerbitnya PT Gramedia Pustaka Utama (@ Rp. 50.000,-).

Salam

Ioanes Rakhmat



Ini salah satu Diagram Feynman yang sangat termashyur. Richard Phillips Feynman (11 Mei 1918–15 Februari 1988) adalah salah seorang peletak dasar dan teoretikus agung fisika quantum, khususnya elektrodinamika quantum. Dia seorang saintis kebangsaan Amerika, dan juga seorang pemain drum, berjiwa eksentrik dan bebas ... I like his freedom and intelligence....

## (1) **The Mystery of Being**

Menyangkut pertanyaan-pertanyaan mengenai jagat raya, menurut SH&LM, "filsafat sudah mati", karena apa yang dipikirkan para filsuf tidak sejalan dengan perkembangan-perkembangan mutakhir dalam sains modern, khususnya fisika.

Pendekatan yang dipakai SH&LM adalah realisme-yang-bergantung-pada-model (*model-dependent realism*). Pendekatan ini didasarkan pada gagasan bahwa otak kita menafsirkan input data yang berasal dari organ indrawi kita dengan membuat suatu model tentang dunia. Jika dua teori atau model fisika memprediksi dengan akurat peristiwa-peristiwa yang sama, teori atau model yang satu tidak dapat dikatakan lebih riil dari yang lainnya; melainkan kita bebas menggunakan model mana yang paling cocok.

### *M-theory (suatu jaringan berbagai teori)*

Bagi SH&LM, "M-theory" adalah teori atau model yang menjadi puncak dan merangkumi semua teori fisika yang pernah ada (dari Plato ke teori klasik Newton ke teori-teori quantum modern), teori atau model pamungkas untuk menjelaskan seluruh jagat raya, teori atau model untuk segala sesuatu ("the ultimate theory of everything"), yang mencakup semua gaya yang ada dalam jagat raya (gaya gravitasi, gaya elektromagnetik, gaya nuklir kuat, dan gaya nuklir lemah) dan memprediksi setiap observasi yang dapat kita buat. M-theory menyediakan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan mengenai jagat raya. Menurut teori ini, jagat raya kita bukanlah satu-satunya jagat raya, melainkan ada banyak jagat raya yang diciptakan dari ketiadaan. Penciptaan banyak jagat raya tidak memerlukan intervensi suatu makhluk supernatural atau allah; melainkan muncul dengan sendirinya dari hukum fisika, terprediksikan oleh sains.

### *Tiga pertanyaan*

Dalam buku GD, kedua penulisnya berusaha menjawab 3 pertanyaan "mengapa" (bukan hanya "bagaimana"): Mengapa ada sesuatu ketimbang tidak ada apapun? Mengapa kita ada? Mengapa seperangkat hukum yang khusus dan bukan hukum yang lainnya?

## (2) **The Rule of Law**

Dalam bab ini SH&LM menelusuri kemunculan dan perkembangan kesadaran saintifik manusia dalam "periode klasik" (mulai kira-kira tahun 500 SM) yang menyingkirkan pemikiran mitologis atau teologis atas jagat raya: Thales dari Miletus (ca. 624 SM-ca. 546 SM) dari Ionia, sebagai orang pertama yang mengajukan suatu konsep bahwa jagat raya ini diatur bukan oleh para dewa, tetapi oleh hukum-hukum alam yang dapat dipahami dan dijelaskan melalui observasi dan nalar; Pythagoras (ca. 580 SM-ca. 490 SM); Archimedes (ca. 287 SM-ca. 212 SM); Anaximander (ca. 610 SM-ca. 546 SM), Empedocles (ca. 490 SM-ca. 430 SM); Demokritus (ca. 460 SM-ca. 370 SM) yang memperkenalkan konsep atom (kata Yunani, yang artinya "tak dapat dipotong"); Aristarkhus (ca. 310 SM-ca. 230 SM) sebagai orang pertama yang berpendapat bahwa Bumi bukanlah pusat sistem planetari kita, tetapi Bumi dan planet-planet lain mengorbit Matahari yang jauh lebih besar.

Tetapi pemikiran Yunani yang sudah dimulai sekitar tahun 500 SM ini hanya berpengaruh selama beberapa abad saja karena berbagai alasan. Pertama, teori-teori yang dikembangkan para pemikir Ionian tampak tidak memberi tempat pada kemauan bebas atau tujuan atau pada konsep tentang dewa-dewa yang mencampuri kerja jagat raya. Kedua, mereka belum menemukan metode saintifik; teori-teori mereka tidak dikembangkan dengan pendasaran pada verifikasi eksperimental. Ketiga, pada masa itu belum dibuat pembedaan antara aturan-aturan manusia dan hukum-hukum alam. Keempat, kalkulasi matematis dan pengukuran yang akurat sulit dilaksanakan pada zaman kuno.

Tampililah sejumlah pemikir yang menolak pemikiran-pemikiran Ionian. Beberapa di antaranya dapat disebutkan. Epikurus (341 SM-270 SM) menolak atomisme yang diperkenalkan Demokritus. Aristoteles juga menolak konsep tentang atom karena dia tidak bisa menerima kalau manusia terdiri atas objek-objek yang tak bernyawa atau tak berjiwa. Pemikiran heliosentrisme Aristarkhus ditolak selama berabad-abad, dan baru muncul kembali dan diterima secara umum ketika Galileo Galilee (1564-1642) menghidupkannya kembali hampir dua puluh abad sesudahnya. Pada abad ketigabelas, filsuf Kristen Thomas Aquinas (ca. 1225-1274) memasukkan kembali Allah yang sudah

dikeluarkan para pemikir Ionian, ketika dia menyatakan, "Sudahlah jelas bahwa benda-benda tak bernyawa mencapai tujuan mereka bukan secara kebetulan, melainkan karena suatu maksud... Karena itu, pastilah ada suatu hakikat personal yang cerdas yang olehnya segala sesuatu dalam alam ditata menuju tujuannya." Bahkan astronom besar Jerman, Johannes Kepler (1571-1630), percaya bahwa planet-planet memiliki persepsi indrawi dan dengan sadar mengikuti hukum-hukum gerak yang ditangkap oleh 'pikiran' mereka. Pada tahun 1277, Uskup Tempier dari Paris, yang bertindak atas perintah Paus Yohanes XXI, menerbitkan sebuah daftar 219 kekeliruan atau bidah yang harus dikutuk, di antaranya adalah gagasan bahwa alam mengikuti hukum-hukum tertentu, karena gagasan ini dinilai berkonflik dengan kemahakuasaan Allah.

### *Konsep modern*

Konsep modern tentang hukum-hukum alam muncul di abad ketujuhbelas. Tampaknya Johannes Kepler adalah seorang saintis pertama yang memahami terminologi "hukum-hukum alam" dalam pengertian sains modern, meskipun dia mempertahankan suatu pandangan animistik mengenai objek-objek fisik. Galileo menyingkapkan banyak hukum alam, dan mempertahankan sebuah konsep penting bahwa *observasi adalah dasar sains* dan bahwa tujuan sains adalah menyelidiki hubungan-hubungan kuantitatif yang ada antara fenomena fisika.

Tetapi orang pertama yang dengan eksplisit dan dengan kuat merumuskan konsep tentang hukum-hukum alam sebagaimana kita memahaminya adalah René Descartes (1596-1650). Descartes percaya bahwa semua fenomena fisikal harus dijelaskan dari sudut tabrakan antara massa-massa yang bergerak, yang diatur oleh tiga hukum (pendahulu hukum-hukum gerak Newton yang terkenal). Dia menegaskan bahwa hukum-hukum alam berlaku di semua tempat dan di segala waktu, dan menyatakan dengan eksplisit bahwa ketaatan pada hukum-hukum ini tidak berarti bahwa benda-benda yang bergerak memiliki pikiran. Menurut Descartes, Allah dapat dengan kemauannya sendiri mengubah kebenaran atau kesalahan proposisi-proposisi moral atau teorem-teorem matematis, tetapi tidak dapat mengubah alam. Dia percaya bahwa Allah menjadikan hukum-hukum alam tetapi tidak memiliki pilihan dalam hukum-hukum ini; Allah menetapkan hukum-hukum ini karena hukum-hukum ini, sebagaimana kita

alami, adalah satu-satunya hukum-hukum yang mungkin. Baginya, tidak peduli bagaimana materi diatur pada permulaan jagat raya, lambat laun suatu dunia yang identik dengan dunia kita akan berevolusi. Menurutnya, sekali Allah membuat jagat raya ini jalan, Allah selanjutnya meninggalkan jagat raya ini sendirian sama sekali.

Isaac Newton (1643-1727) mengambil posisi yang serupa, dengan beberapa kekecualian. Konsep-konsep Newton mengenai suatu hukum saintifik dengan tiga hukum geraknya, dan hukum gravitasinya yang dengannya orang dapat menjelaskan orbit-orbit Bumi, bulan dan planet-planet, dan juga fenomena seperti pasang surut air laut, adalah konsep-konsep yang diterima secara luas sebagai konsep-konsep saintifik modern. Dalam dunia sehari-hari, di mana kecepatan-kecepatan gerak benda-benda yang kita temui berada jauh di bawah kecepatan cahaya, hukum-hukum Newton merupakan hukum-hukum sebab berlaku pada kondisi ini; tetapi hukum-hukum Newton harus dimodifikasi jika objek-objek bergerak dengan kecepatan-kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Meskipun Newton mengajukan konsep-konsep saintifik modern, dia percaya juga bahwa Allah dapat dan telah mencampuri kerja jagat raya.

### *Tiga pertanyaan*

Jika alam diatur oleh hukum-hukum, muncul tiga pertanyaan: (1) Dari mana asal-usul hukum-hukum ini? (2) Apakah ada kekecualian-kekecualian apapun terhadap hukum-hukum ini, yakni mukjizat-mukjizat? (3) Apakah hanya ada satu perangkat hukum-hukum yang mungkin?

Jawaban tradisional yang diberikan kepada pertanyaan pertama (yakni jawaban Kepler, Galileo, Descartes, dan Newton) adalah bahwa hukum-hukum alam diciptakan oleh Allah; namun jawaban ini sebenarnya tidaklah lebih dari sebuah definisi tentang Allah sebagai suatu penubuhan atau pengejawantahan hukum-hukum alam. Bagi SH&LM, memakai Allah sebagai suatu jawaban terhadap pertanyaan pertama hanyalah mengganti satu misteri dengan satu misteri lainnya: Maka, timbul pertanyaan pengganti: Dari mana Allah berasal? Siapa yang menciptakan Allah?

### *Determinisme saintifik*

Terhadap pertanyaan kedua, SH&LM menjawab berdasarkan determinisme saintifik.

Laplace (nama lengkapnya Pierre-Simon, marquis de Laplace, 1749-1827) adalah orang pertama yang dengan jelas mempostulatkan determinisme saintifik: jika keadaan jagat raya pada satu waktu diterima, maka seperangkat lengkap hukum-hukum akan dengan sepenuhnya menentukan baik masa depannya maupun masa lampainya. Karena masa lampau dan masa depan segala sesuatu ditentukan oleh hukum-hukum alam, maka tidak terbuka kemungkinan bagi adanya mukjizat-mukjizat atau adanya suatu peran aktif Allah. Determinisme saintifik adalah jawaban saintifik bagi pertanyaan kedua, dan sesungguhnya merupakan dasar bagi semua sains modern, sebuah prinsip yang diklaim SH&LM sebagai prinsip penting bagi seluruh buku GD. Tulis mereka, "sebuah hukum saintifik bukanlah sebuah hukum saintifik jika hukum ini hanya berlaku kalau suatu hakikat supernatural memutuskan untuk tidak mencampurinya."

### *Adakah kehendak bebas?*

Apakah determinisme saintifik juga berlaku bagi manusia, sehingga tidak ada kehendak bebas pada manusia (dan semua makhluk hidup lainnya)? Pemahaman kita atas basis molekuler dari biologi memperlihatkan bahwa proses-proses biologis diatur oleh ilmu fisika dan ilmu kimia dan karena itu tunduk pada determinisme saintifik, seperti juga halnya dengan orbit planet-planet. Eksperimen-eksperimen mutakhir dalam neurosains mendukung pandangan bahwa otak fisikal kitalah, yang bekerja dengan mengikuti hukum-hukum sains, menentukan tindakan-tindakan kita, bukan suatu agensi yang berada di luar hukum-hukum itu. Jadi, sukar untuk membayangkan bagaimana kehendak bebas akan dapat beroperasi jika perilaku kita ditentukan oleh hukum-hukum fisika, sehingga tampaknya bahwa kita ini tidak lebih daripada mesin-mesin biologis dan bahwa kehendak bebas hanyalah sebuah ilusi.

### *Teori efektif*

Tetapi karena tubuh manusia terdiri atas ribuan trilyun trilyun molekul yang harus diperhitungkan, dan ada banyak variabel yang ikut bekerja, maka dalam prakteknya sangat sulit bahkan mustahil memprediksi hasil atau akibat yang ditimbulkan oleh kerja hukum-hukum alam di dalam diri manusia, yang menentukan perilaku manusia. Karena sangat tidak praktis menggunakan hukum-hukum fisika sebagai suatu landasan untuk

menentukan atau memprediksi perilaku manusia, maka dipakai apa yang dinamakan teori efektif (*effective theory*). Dalam fisika, suatu teori efektif adalah sebuah kerangka atau sebuah perancah yang diciptakan sebagai model bagi fenomena yang diobservasi tanpa menggambarkan dengan rinci semua proses yang mendasarinya. Misalnya, kita tidak dapat memerinci dengan persis persamaan-persamaan yang mengatur interaksi gravitasi dari setiap atom dalam tubuh seseorang dengan setiap atom dalam Bumi. Tetapi untuk kepentingan praktis, gaya gravitasi di antara seseorang dan Bumi dapat digambarkan hanya dalam beberapa bilangan saja, seperti total massa seseorang. Demikian juga, kita tidak dapat memerinci persamaan-persamaan yang mengatur perilaku atom-atom yang rumit dan molekul-molekul, tetapi kita telah mengembangkan sebuah teori efektif yang dinamakan ilmu kimia yang menyediakan sebuah penjelasan yang memadai tentang bagaimana atom-atom dan molekul-molekul berperilaku di dalam reaksi-reaksi kimiawi tanpa memperhitungkan setiap rincian interaksi ini. Dalam hal manusia, karena kita tidak dapat memerinci persamaan-persamaan yang menentukan perilaku kita, kita menggunakan teori efektif bahwa manusia memiliki kehendak bebas. Kajian atas kehendak kita, dan atas perilaku kita yang muncul dari kehendak kita, adalah ilmu psikologi.

Terhadap pertanyaan ketiga di atas, SH&LM merujuk ke Plato dan Aristoteles yang, seperti Descartes dan kemudian Einstein, percaya bahwa hukum-hukum alam ada karena "keharusan", maksudnya, hukum-hukum ini ada karena hukum-hukum inilah satu-satunya hukum-hukum yang secara logis bermakna. Galileo mengamati, hukum-hukum alam inilah satu-satunya hukum-hukum alam yang alam jalankan pada dirinya sendiri, bukan harus ada karena alasan-alasan logis saja.

### (3) **What Is Reality?**

Persepsi kita atas realitas jagat raya tidak pernah lepas dari keterlibatan diri kita melalui observasi di dalam proses pembentukan persepsi itu. Kita membentuk sebuah model tertentu atas realitas yang sejalan dengan dan menjelaskan persepsi kita atas realitas itu. Inilah yang disebut *model-dependent realism*: gagasan bahwa suatu teori fisika atau gambaran tentang dunia adalah sebuah model (umumnya bersifat matematis) dan seperangkat aturan yang menghubungkan unsur-unsur model dengan observasi-observasi. Bukan hanya di dalam sains kita membentuk model-model, tetapi

juga dalam kehidupan sehari-hari. Realisme-yang- bergantung-pada-model berlaku bukan hanya pada model-model saintifik, tetapi juga pada model-model mental yang sadar dan yang tak sadar, yang kita ciptakan untuk menafsirkan dan memahami dunia sehari-hari. Tidak ada kemungkinan untuk menyingkirkan orang yang mengobservasi (yaitu kita) dari persepsi kita tentang dunia ini, yang diciptakan melalui proses penginderaan kita dan melalui cara kita berpikir dan bernalar. Persepsi kita, dan karenanya observasi-observasi yang padanya kita mendasarkan teori-teori kita, tidaklah langsung, melainkan dibentuk oleh semacam lensa, yakni struktur interpretif yang dibentuk oleh otak kita. Beberapa contoh model fisika dapat dikemukakan.

Geosentrisme Ptolemeus (ca. 85-ca. 165), yang diikuti antara lain oleh Aristoteles (yang karena alasan mistikal percaya bahwa Bumi harus menjadi pusat jagat raya), dan yang diadopsi oleh Gereja Katolik dan dipegang sebagai sebuah doktrin resmi selama empat belas abad, adalah sebuah model kosmologis. Model ini kemudian berhadapan dengan model heliosentrisme yang pada tahun 1543 diajukan oleh Kopernikus dalam bukunya *De revolutionibus orbium coelestium* (*On the Revolutions of the Celestial Spheres*). Menurut SH&LM, orang dapat menggunakan kedua gambaran kosmologis ini sebagai sebuah model jagat raya, sebab observasi-observasi kita atas angkasa luar dapat diterangkan dengan mengasumsikan entah Bumi atau Matahari sebagai benda langit yang diam, yang diedari benda-benda langit lainnya.

Sebuah model lama (yang kemudian digantikan oleh sebuah model lain yang lebih cocok dengan observasi) adalah model yang memandang jagat raya ini statis, tidak berubah ukurannya, sebagaimana dipertahankan kebanyakan saintis pada tahun 1920-an. Tetapi, di tahun 1929, Edwin Hubble menerbitkan observasi-observasinya yang menunjukkan jagat raya ini mengembang, *expanding*. Tentu saja Hubble tidak langsung mengamati kalau jagat raya ini mengembang. Dia mengobservasi cahaya yang dipancarkan galaksi-galaksi. Cahaya ini membawa suatu tanda tangan yang khas, yakni spektrum cahaya, yang terbentuk berdasarkan komposisi masing-masing galaksi, yang berubah dengan suatu jumlah yang dikenal jika galaksi ini bergerak terkait dengan diri kita sebagai pengamat. Karena itu, dengan menganalisis spektra galaksi-galaksi yang jauh, Hubble dapat menentukan kecepatan-kecepatan mereka. Dia berharap untuk menemukan galaksi-galaksi yang menjauh dari kita sama banyaknya dengan galaksi-



galaksi yang mendekati kita. Tetapi yang ditemukan Hubble tidak demikian, melainkan bahwa hampir semua galaksi bergerak menjauh dari kita, dan semakin jauh mereka, semakin cepat gerakan mereka. Hubble menyimpulkan bahwa jagat raya mengembang.

#### *Syarat sebuah model yang baik*

Sebuah model dinilai baik jika model ini: (a) sederhana dan cerdas (elegant); (b) berisi sedikit unsur yang acak dan dapat disesuaikan; (c) sejalan dengan dan menjelaskan semua observasi yang ada; (d) membuat prediksi yang rinci mengenai observasi-observasi pada masa yang akan datang yang dapat menolak atau menyalahkan model ini jika observasi-observasi ini tidak dihasilkan.

#### **(4) Alternative Histories**

Teori-teori saintifik klasik seperti teori-teori Newton dibangun di atas suatu perancah atau kerangka yang merefleksikan pengalaman sehari-hari, yang di dalamnya objek-objek material memiliki suatu eksistensi individual, dapat ditempatkan di lokasi-lokasi yang pasti, bergerak mengikuti jalan-jalan yang pasti, dan seterusnya. Tetapi ketika kita telah mengembangkan teknologi kita dan memperluas ruang kisaran fenomena yang kita dapat observasi, sampai ke dunia atomik atau dunia sub-atomik, kita mulai menemukan bahwa alam ini bertindak dengan cara-cara yang makin kurang sejalan dengan pengalaman kita sehari-hari dan karenanya dengan intuisi kita.

Ternyata apa yang berlangsung dalam dunia atomik atau dunia sub-atomik, tidak bisa lagi dijelaskan oleh teori-teori fisika klasik Newton. Atom-atom dan molekul-molekul individual beroperasi dengan suatu cara yang sangat berbeda dari pengalaman kita sehari-hari. Ketika teori-teori fisika Newton tidak bisa lagi menjelaskan hal-hal yang diobservasi para saintis dalam dunia atomik/sub-atomik, prinsip-prinsip fisika quantum dikembangkan dalam beberapa dekade awal abad XX, dengan mengetengahkan skema konseptual yang sama sekali lain, skema yang di dalamnya posisi suatu objek, jalan yang ditempuhnya, dan bahkan masa lalu dan masa depannya, tidak dapat ditentukan dengan persis. Fisika quantum adalah sebuah model baru mengenai realitas yang memberi kita sebuah gambaran mengenai jagat raya dengan makin lengkap.

Ada beberapa fitur penting dari aspek-aspek fisika quantum yang digunakan SH&LM untuk mendasarkan argumen-argumen dalam buku mereka. Pertama, dualitas gelombang/partikel: partikel-partikel materi berperilaku seperti sebuah gelombang. Kedua, prinsip ketidakpastian yang dirumuskan Werner Heisenberg pada tahun 1926. Menurut prinsip ini, ada keterbatasan-keterbatasan pada kemampuan kita untuk serentak mengukur suatu data, seperti posisi dan kecepatan (velositas) suatu partikel. Menurut prinsip ketidakpastian ini, jika anda mengalikan ketidakpastian posisi suatu partikel dengan ketidakpastian momentumnya (=massa-nya dikali kecepatannya), hasilnya tidak pernah dapat lebih kecil dari suatu kuantitas yang sudah ditentukan dengan pasti, yang disebut *konstan Planck*. Intinya: Semakin persis anda mengukur kecepatan suatu partikel, semakin kurang persis anda dapat mengukur posisinya, demikian juga sebaliknya. Ketiga, prinsip yang menyatakan bahwa jika suatu sistem diamati, maka sistem ini akan harus mengubah jalannya. Menurut fisika quantum, anda tidak dapat "hanya" mengamati sesuatu, maksudnya bahwa jika anda membuat suatu pengamatan, anda harus berinteraksi dengan objek yang sedang anda amati.

Dalam bingkai prinsip ketidakpastian quantum, hasil-hasil dari suatu proses fisika tidak dapat diprediksi dengan pasti karena hasil-hasil ini tidak ditentukan dengan pasti, tak peduli berapa banyak informasi yang kita dapatkan atau berapa kuat kemampuan komputasi kita. Jika keadaan awal ("initial state" atau "initial condition") suatu sistem diperhitungkan, maka alam menentukan masa depannya melalui suatu proses yang pada dasarnya tidak pasti. Dengan kata lain, alam tidak menentukan hasil dari suatu proses atau eksperimen apapun, bahkan di dalam situasi-situasi yang paling sederhana sekalipun. Melainkan, alam memungkinkan sejumlah hasil akhir yang berbeda, dengan masing-masing memiliki suatu kemungkinan tertentu untuk terwujud. Memakai parafrasis atas ungkapan Einstein, seolah Allah melempar dadu sebelum memutuskan hasil dari setiap proses fisika.

#### *Suatu bentuk baru determinisme saintifik*

Apa yang baru dikemukakan dalam alinea di atas tampak seolah merongrong gagasan bahwa alam diatur oleh hukum-hukum; tetapi sebenarnya tidak demikian. Melainkan hal ini membawa kita kepada suatu keadaan untuk menerima suatu bentuk baru determinisme saintifik. Jika keadaan awal suatu sistem pada suatu waktu

diperhitungkan, maka hukum-hukum alam menentukan kemungkinan-kemungkinan (probabilities) masa depan dan masa lampau yang beranekaragam ketimbang menentukan satu masa depan dan satu masa lampau dengan pasti. Kemungkinan-kemungkinan di dalam teori-teori quantum berbeda jika dibandingkan dengan kemungkinan-kemungkinan dalam fisika Newton atau dalam pengalaman sehari-hari, karena mencerminkan suatu keacakan fundamental di dalam alam. Model quantum mengenai realitas mencakup prinsip-prinsip yang berkontradiksi bukan hanya dengan pengalaman sehari-hari kita, tetapi juga dengan konsep intuitif kita mengenai realitas.

### *Sejarah-sejarah alternatif*

Dalam teori quantum, khususnya dalam suatu pendekatan terhadap teori quantum yang dinamakan "sejarah-sejarah alternatif" (*alternative histories*), jagat raya dipandang tidak memiliki hanya satu eksistensi atau hanya satu sejarah atau hanya satu masa lampau tunggal, tetapi setiap versi yang mungkin dari jagat raya berada serentak dalam apa yang dinamakan suatu superposisi quantum (*a quantum superposition*). Fisika quantum menyatakan bahwa tak peduli berapa luas dan menyeluruh observasi kita atas masa kini (jagat raya), masa lampau (yang tak terobservasi), seperti juga masa depan, tidaklah pasti dan ada hanya sebagai suatu spektrum kemungkinan-kemungkinan.

## **(5) The Theory of Everything**

"Teori tentang segala sesuatu" yang disarankan para saintis merupakan suatu teori puncak yang sejalan dengan teori quantum, yang merangkumi empat gaya dalam jagat raya:

### *Pertama, gaya gravitasi*

Hukum gravitasi Newton, yang dipublikasi tahun 1687, menyatakan bahwa setiap objek dalam jagat raya menarik setiap objek lainnya dengan suatu kekuatan yang sebanding atau proporsional dengan massanya.

Tetapi, oleh Albert Einstein, yang melakukan penelitian dari 1905 sampai 1916, teori gravitasi Newton diganti dengan sebuah teori baru gravitasi yang disebut teori

relativitas umum (*general relativity theory*): "ruang-dan-waktu" (sebagai suatu dimensi keempat selain dimensi-dimensi "atas-bawah", "depan-belakang" dan "kiri-kanan") tidaklah datar, tetapi melengkung atau menceruk dan terdistorsi oleh massa dan energi di dalamnya. Dalam teori gravitasi Einstein, objek-objek bergerak pada suatu *geodesik*, yakni jarak terpendek di antara dua titik pada suatu permukaan atau ruang yang melengkung. Teori relativitas umum adalah suatu model tentang jagat raya yang sangat berbeda, yang memprediksi efek-efek seperti gelombang-gelombang gravitasi dan lubang-lubang hitam; dengan demikian, teori ini mengubah fisika menjadi geometri.

[Sebelumnya, di dalam suatu makalah yang ditulis tahun 1905, yang berjudul "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" ("Tentang Elektrodinamika Benda-benda Bergerak"), Einstein memperkenalkan suatu teori yang dinamakan teori relativitas khusus, *special relativity theory*, yang menyatakan bahwa pengukuran waktu bergantung pada si pengamat yang melakukan pengukuran itu; dengan demikian, waktu tidak bisa mutlak, sebagaimana dipikirkan Newton sebelumnya, atau dengan kata lain, tidaklah mungkin untuk memberikan kepada setiap peristiwa waktu yang setiap pengamat akan setuju. Ruang dan waktu saling merangkul.]

#### Kedua, *gaya elektromagnetik*

Gaya ini bekerja sebagai gaya gravitasi, dengan suatu perbedaan penting bahwa dua muatan listrik atau dua magnet dari jenis yang sama menolak satu sama lain, sedangkan dua muatan yang tak sejenis atau dua magnet yang tidak sejenis saling menarik. Gaya elektrik dan gaya magnetik jauh lebih kuat dari gaya gravitasi, tetapi kita biasanya tidak memperhatikan kedua gaya ini dalam kehidupan sehari-hari karena suatu tubuh makroskopik berisi muatan elektrik positif dan negatif yang jumlahnya hampir sama. Hal ini berarti bahwa gaya elektrik dan gaya magnetik di antara dua tubuh makroskopik hampir membatalkan satu sama lain, tidak seperti gaya-gaya gravitasi yang semuanya berkombinasi. (James Clerk Maxwell, seorang fisikawan Skotlandia, pada tahun 1860-an, berhasil memperlihatkan secara matematis bahwa gaya elektrik dan gaya magnetik adalah manifestasi-manifestasi dari satu entitas fisika yang sama, yakni medan elektromagnetik; dengan demikian, dia telah berhasil menyatukan elektrika dan magnetika ke dalam satu gaya, gaya elektromagnetik).

### Ketiga, *gaya nuklir lemah*

Gaya ini menyebabkan radioaktivitas dan memainkan suatu peran vital dalam formasi elemen-elemen bintang-bintang dan jagat raya pada tahap dininya. Kita tidak bersentuhan dengan gaya ini dalam kehidupan sehari-hari.

### Keempat, *gaya nuklir kuat*

Gaya ini menyatukan proton dan neutron di dalam nukleus sebuah atom. Gaya ini juga menyatukan proton dan neutron itu sendiri, yang perlu terjadi karena keduanya terbuat dari partikel-partikel yang lebih kecil, yakni quark. Gaya nuklir kuat adalah sumber energi bagi matahari dan daya nuklir, tetapi kita tidak bersentuhan langsung dengannya.

SH&LM membuat beberapa catatan berkaitan dengan teori-teori di atas. Jika kita mau memahami perilaku atom-atom dan molekul-molekul, kita memerlukan suatu versi quantum atas teori elektromagnetisme Maxwell; dan jika kita ingin memahami jagat raya pada tahap dininya (*the early universe*), ketika semua materi dan energi dalam jagat raya terhimpun padat dalam suatu volume yang kecil, kita harus memiliki sebuah versi quantum atas teori relativitas umum. Dalam fisika quantum, jagat raya dapat memiliki sejarah apapun yang mungkin, masing-masing dengan amplitudo intensitas dan probabilitasnya sendiri. Kita dengan demikian harus menemukan versi-versi quantum atas semua hukum alam; teori-teori semacam ini disebut teori-teori medan quantum (*quantum field theories*).

### *Quantum electrodynamics* (QED)

Versi quantum atas medan elektromagnetik dinamakan *quantum electrodynamics*(QED) atau elektrodinamika quantum, yang dikembangkan pada tahun 1940-an oleh Richard Feynman dan para saintis lainnya, dan QED ini telah menjadi sebuah model bagi semua teori medan quantum. Kalau dalam teori-teori klasik gaya-gaya ditransmisikan oleh medan-medan (*fields*), dalam teori medan quantum medan-medan gaya digambarkan terbuat dari aneka ragam partikel elementer yang dinamakan *boson*, yakni partikel yang membawa gaya, yang terbang ke depan dan ke belakang di antara materi-materi

partikel, sehingga gaya-gaya ditransmisikan. Partikel-partikel materi dinamakan *fermion*. Elektron dan *quark* adalah contoh-contoh fermion. *Foton*, atau partikel cahaya, adalah sebuah contoh boson. Gaya elektromagnetik ditransmisikan oleh boson. Dalam apa yang dinamakan Diagram Feynman, digambarkan cara-cara yang mungkin ditempuh elektron ketika satu sama lain menyebar melalui gaya elektromagnetik. Dalam diagram ini, garis-garis lurus tak putus menggambarkan elektron-elektron, sedangkan garis-garis berombak/keriting menggambarkan foton.

### *Gaya elektrolemah*

Pada 1967, Abdus Salam dan Steven Weinberg tanpa bergantung satu sama lain mengusulkan sebuah teori yang mempersatukan elektromagnetisme dengan gaya nuklir lemah, dan gaya yang dipersatukan ini dinamakan gaya elektrolemah.

### *Quantum chromodynamics (QCD)*

Versi quantum atas gaya nuklir kuat disebut quantum chromodynamics (QCD) atau kromodinamika quantum. Menurut QCD, proton, neutron, dan banyak partikel materi elementer lain terbuat dari quark, yang memiliki suatu sifat yang jelas yang para fisikawan sebut sebagai warna (karena itulah muncul nama chromodynamics), yang tak ada hubungannya dengan warna yang kasat mata. QCD memiliki kebebasan asymptotik (*asymptotic freedom*), maksudnya adalah bahwa gaya-gaya kuat yang terdapat di antara elemen-elemen quark volumenya kecil ketika elemen-elemen quark ini dekat satu sama lain, tetapi bertambah besar ketika quark berjauhan satu sama lain, seolah semua quark terhubung dengan pita-pita karet. Kebebasan asymptotik ini menjelaskan mengapa kita tidak melihat *quark* yang terisolasi dalam alam dan tidak dapat memproduksinya di dalam laboratorium.

### *Grand unified theory (GUT)*

Setelah menggabungkan gaya nuklir lemah dan gaya elektromagnetik, para fisikawan di tahun 1970-an mencari suatu jalan untuk memasukkan daya nuklir kuat ke dalam suatu teori gabungan. Dalam hal ini, ada sejumlah teori yang dinamakan *grand unified theory* atau GUT, teori besar penyatuan, yang mempersatukan gaya nuklir kuat dengan gaya nuklir lemah dan gaya elektromagnetik, yang bagian terbesarnya memprediksi bahwa proton haruslah membusuk/lenyap rata-rata setelah  $10^{32}$  tahun. Ini

adalah suatu usia yang sangat lama, mengingat jagat raya saja berusia hanya 10 pangkat 10 tahun.

Karena bukti-bukti yang diperoleh dari observasi-observasi sebelumnya gagal juga mendukung GUT, maka kebanyakan fisikawan mengadopsi suatu teori ad hoc yang dinamakan model standard, yang mencakupi teori gabungan gaya-gaya elektrolemah dan QCD sebagai sebuah teori gaya-gaya kuat. Tetapi di dalam model standard ini, gaya elektrolemah dan gaya nuklir kuat bertindak sendiri-sendiri dan belum sungguh-sungguh dipersatukan. Model standard sangat sukses dan sejalan dengan semua bukti yang didapat dari observasi sekarang ini, tetapi pada dasarnya tidak memuaskan karena, selain belum berhasil menyatukan gaya elektrolemah dan gaya nuklir kuat, juga belum mencakup gaya gravitasi. Terbukti sangat sulit memadukan gaya nuklir kuat dengan gaya elektromagnetik dan gaya nuklir lemah; tetapi masalah ini bukanlah apa-apa jika dibandingkan dengan masalah menyatukan gaya gravitasi dengan tiga gaya lainnya, atau dengan masalah yang lebih besar lagi dalam menciptakan suatu teori gravitasi quantum yang berdiri sendiri.

#### *Fluktuasi quantum: tak ada ruang yang sama sekali kosong*

Alasan mengapa suatu teori gravitasi quantum terbukti sulit untuk diciptakan berkait dengan prinsip ketidakpastian Heisenberg. Berkaitan dengan prinsip ini, nilai suatu medan dan besaran angka perubahannya memainkan peran yang sama seperti yang dimainkan posisi dan kecepatan suatu partikel. Semakin akurat hal yang satu ditentukan, dapat semakin kurang akurat untuk hal yang lainnya. Salah satu akibat penting dari hal ini adalah bahwa tidak ada ruang yang sama sekali kosong. Halnya demikian karena ruang kosong berarti bahwa baik nilai suatu medan maupun besaran angka perubahannya persis nol. Karena prinsip ketidakpastian tidak memungkinkan nilai-nilai medan dan besaran angka perubahan sama persis, ruang tidak pernah kosong. Setiap ruang dapat memiliki suatu energi minimum yang dinamakan vakum. Tetapi keadaan vakum ini bergantung pada apa yang dinamakan *quantum jitter* (fluktuasi quantum) atau *vacuum fluctuation*, yaitu suatu kondisi di mana partikel-partikel dan medan-medan gaya bervibrasi atau berfluktuasi di dalam dan keluar dari suatu eksistensi.

Fluktuasi vakum dapat dipikirkan sebagai pasangan-pasangan partikel yang muncul bersamaan pada suatu waktu, bergerak terpisah, lalu menyatu lagi dan saling melenyapkan. Partikel-partikel ini dinamakan partikel-partikel virtual. Tidak seperti partikel nyata, partikel virtual tidak dapat diobservasi langsung dengan sebuah detektor partikel. Namun, efek-efek tidak langsung dari partikel virtual, seperti perubahan kecil di dalam energi orbit elektron, dapat diukur, dan sejalan dengan prediksi-prediksi teoretis dengan tingkat akurasi yang luar biasa. Masalahnya adalah bahwa partikel-partikel virtual memiliki energi, dan karena pasangan partikel-partikel virtual ini ada dalam suatu jumlah tak terbatas, partikel-partikel ini memiliki suatu jumlah energi tanpa batas. Menurut teori relativitas umum, ini berarti bahwa partikel-partikel virtual dapat melengkungkan jagat raya sampai ke suatu ukuran kecil tak terbatas.

### *Supergravitasi dan supersimetri*

Pada tahun 1976, para fisikawan mengusulkan apa yang dinamakan supergravitasi. Prefiks "super" ditambahkan bukan karena dianggap teori gravitasi quantum ini dapat betul-betul bekerja, melainkan mengacu pada sejenis simetri yang dimiliki teori ini, yang dinamakan supersimetri. Dalam fisika, suatu sistem dikatakan memiliki suatu simetri jika sifat-sifatnya (properties) tidak terpengaruh oleh suatu transformasi tertentu seperti merotasikannya di dalam ruang atau mengambil gambar cerminnya. Supersimetri adalah sejenis simetri yang lebih halus yang tidak dapat dihubungkan dengan suatu transformasi ruang biasa. Salah satu implikasi penting dari supersimetri adalah bahwa partikel-partikel gaya dan partikel-partikel materi, dan dengan demikian gaya dan materi, sesungguhnya adalah dua sisi dari satu hal yang sama. Kongkretnya, ini berarti bahwa setiap partikel materi, misalnya sebuah quark, harus memiliki suatu partikel mitra berupa suatu partikel gaya, dan setiap partikel gaya, seperti foton, harus memiliki suatu partikel mitra berupa sebuah partikel materi. Dalam kenyataannya, partikel-partikel mitra ini belum berhasil diamati. Namun berbagai kalkulasi yang telah dibuat para fisikawan mengindikasikan bahwa partikel-partikel mitra yang bersanding dengan partikel-partikel yang kita amati haruslah seribu kali lebih massif dari massa proton, jika malah bukan lebih berat lagi. Ini terlalu berat bagi partikel-partikel semacam ini untuk dapat dilihat di dalam eksperimen apapun yang telah dilakukan, tetapi diharapkan partikel-partikel semacam ini akan akhirnya dapat diciptakan di dalam Large Hadron Collider di Genewa. Kebanyakan saintis percaya bahwa supergravitasi



mungkin sekali adalah jawaban yang benar terhadap masalah menyatukan gaya gravitasi dengan gaya-gaya lainnya.

### *Teori dawai (string theory)*

Konsep supersimetri sebetulnya bermula beberapa tahun sebelumnya ketika para teoretikus mempelajari suatu teori yang belum matang, yang dinamakan teori dawai, string theory. Menurut teori ini, partikel-partikel bukanlah berbentuk butiran-butiran (*points*), melainkan pola-pola (*patterns*) vibrasi yang memiliki panjang tetapi tidak mempunyai tinggi atau lebar, seperti helai-helai dawai yang ketipisannya tak terbatas. Banyak versi teori dawai; tetapi semuanya konsisten hanya jika ruang-waktu memiliki sepuluh dimensi, ketimbang biasanya hanya empat. Sepuluh dimensi kedengarannya sangat menantang, tetapi hanya betul-betul menjadi masalah kalau anda lupa di mana anda memarkir kendaraan anda. Jika memang ada sepuluh dimensi, kenapa kita tidak melihat dimensi-dimensi lainnya? Menurut teori dawai, dimensi-dimensi lainnya ini melengkung atau melipat masuk ke angkasa luar, atau ke ruang internal (*internal space*), dalam ukuran yang sangat kecil. Suatu masalah lagi dalam teori-teori dawai adalah bahwa tampaknya ada sedikitnya lima teori dan jutaan cara dimensi-dimensi lainnya ini melengkung masuk ke dalam ruang internal, sehingga menyulitkan para teoretikusnya yang mau mempertahankan bahwa teori dawai adalah teori unik tentang segala sesuatunya. Kini para fisikawan yakin bahwa teori-teori dawai yang ada lima versi dan teori supergravitasi hanyalah pendekatan-pendekatan yang berbeda dari suatu teori yang lebih mendasar, yang masing-masing valid di dalam situasi-situasi yang berbeda.

### *M-theory, dan 10 pangkat 500 jagat raya yang berbeda*

Teori yang lebih mendasar itu dinamakan *M-theory*, dengan "M" dapat merupakan singkatan dari "master", "miracle" atau "mystery". M-theory bukanlah sebuah formulasi teori tunggal, melainkan sebuah jaringan (*network*) yang merangkai teori-teori lainnya. Pengharapan tradisional para saintis untuk menemukan sebuah teori tunggal mengenai jagat raya tak dapat dipertahankan lagi, sebab ternyata tidak ada satu formulasi tunggal teori tentang segala sesuatu. Bisa jadi, untuk menggambarkan jagat raya kita harus menggunakan teori-teori yang berbeda di dalam situasi-situasi yang berbeda. Setiap teori dapat memiliki versinya sendiri mengenai realitas; dan menurut realisme

yang bergantung pada model, setiap teori tentang jagat raya dapat diterima sejauh teori-teori ini sejalan dengan prediksi-prediksi teori-teori ini ketika semuanya bertumpangtindih.

M-theory memiliki beberapa sifat yang kita sudah ketahui. Pertama, teori ini memiliki sebelas dimensi ruang-waktu, bukan sepuluh seperti dipertahankan dalam teori-teori dawai. Kedua, teori ini dapat memuat bukan hanya dawai-dawai yang bervibrasi, tetapi juga partikel-partikel butiran, membran dua dimensi, tutul tiga dimensi, dan objek-objek lain yang lebih sulit digambarkan, dan menguasai bahkan lebih banyak dimensi ruang, sampai sembilan. Objek-objek ini dinamakan *p-brane* (p-dimensi ruang-waktu) (dengan p berkisar dari nol sampai sembilan).

Dalam M-theory, dimensi-dimensi ruang-waktu lainnya itu (di luar dimensi-dimensi panjang, lebar dan tinggi) tidak dapat dilengkungkan/dilipat dengan segala cara apapun. Matematika teori ini membatasi cara melengkungkan dimensi-dimensi ruang internal. Bentuk persis ruang internal menentukan baik nilai-nilai konstan fisika, seperti muatan elektron, maupun sifat interaksi di antara partikel-partikel elementer.

Hukum-hukum di dalam M-theory memungkinkan adanya jagat-jagat raya yang berbeda, dengan hukum-hukum yang berbeda, yang dapat kita observasi, bergantung pada bagaimana ruang internal dilengkungkan. M-theory memiliki solusi-solusi yang memungkinkan adanya banyak ruang internal yang berbeda, mungkin sebanyak 10 pangkat 500, yang berarti teori ini membuka kemungkinan bagi adanya 10 pangkat 500 jagat raya yang berbeda, dengan masing-masing memiliki hukum-hukumnya sendiri.

## **(6) Choosing Our Universe**

Dalam bab 6 ini, SH&LM memberi jawab atas pertanyaan mengapa ada sebuah jagat raya, dan mengapa jagat raya ini berjalan sebagaimana sekarang ada.

Uskup Ussher, uskup agung seluruh Irlandia yang menjabat dari 1625 sampai 1656, dengan memakai Alkitab sebagai landasannya, telah menghitung usia jagat raya dan menempatkan asal mula jagat raya sepersisnya pada 27 Oktober 4004 SM. Sedangkan

menurut sains modern, jagat raya sendiri muncul sangat jauh lebih awal, kira-kira 13,7 miliar tahun yang lalu, dan manusia adalah ciptaan yang belum lama ini ada.

### *The big bang, "dentuman besar"*

Bukti saintifik pertama yang sebenarnya bahwa jagat raya ini memiliki suatu permulaan muncul tahun 1920-an, ketika Edwin Hubble melakukan observasi-observasi atas jagat raya dengan memakai teleskop 100 inchi di Gunung Wilson, di kawasan bebukitan di atas Pasadena, California. Seperti sudah dikemukakan di atas, dengan menganalisis spektrum cahaya yang dipancarkan galaksi-galaksi, Hubble dapat menetapkan bahwa hampir semua galaksi bergerak menjauh dari kita, dan semakin jauh galaksi-galaksi ini berada semakin cepat gerakan mereka. Pada 1929 dia mempublikasi suatu hukum yang berhubungan dengan besaran angka gerak menjauh galaksi-galaksi itu dari kita, dan menyimpulkan bahwa jagat raya mengembang, expanding. Bukan alam semestanya sendiri yang mengembang, melainkan jarak di antara dua titik di dalam jagat raya yang makin bertambah besar. Seorang astronom Universitas Cambridge, Arthur Eddington, di tahun 1931, membuat sebuah metafora untuk menggambarkan jagat raya yang mengembang. Eddington mengvisualisasi jagat raya sebagai suatu permukaan sebuah balon yang terus mengembang, dan semua galaksi sebagai titik-titik pada permukaan balon itu. Metafora ini dengan jelas menggambarkan mengapa galaksi-galaksi yang jauh bergerak tambah jauh dengan lebih cepat ketimbang galaksi-galaksi yang dekat.

Penemuan Hubble bahwa jagat raya mengembang membawa kita pada suatu pemahaman bahwa di masa yang sangat lampau jagat raya pastilah lebih kecil ukurannya. Sesungguhnya jika kita bertolak ke masa lampau, maka pada masa itu semua energi dan materi di dalam jagat raya terkonsentrasi di dalam suatu kawasan yang sangat kecil, yang densitas (kepekatan) dan temperaturnya tak terbayangkan besarnya, dan jika kita bertolak cukup jauh ke masa lampau maka ada suatu waktu ketika semuanya berawal, yakni peristiwa yang kini kita namakan the big bang, "dentuman besar". Alexander Friedmann, seorang fisikawan dan matematikawan Russia, di tahun 1922, dengan berdasar pada persamaan matematis Einstein, mengajukan sebuah model jagat raya yang berawal dengan ukuran nol lalu mengembang sampai gaya gravitasi memperlambatnya, dan akhirnya membuatnya surut menimpa dirinya sendiri. Pada tahun 1927, seorang professor fisika dan imam

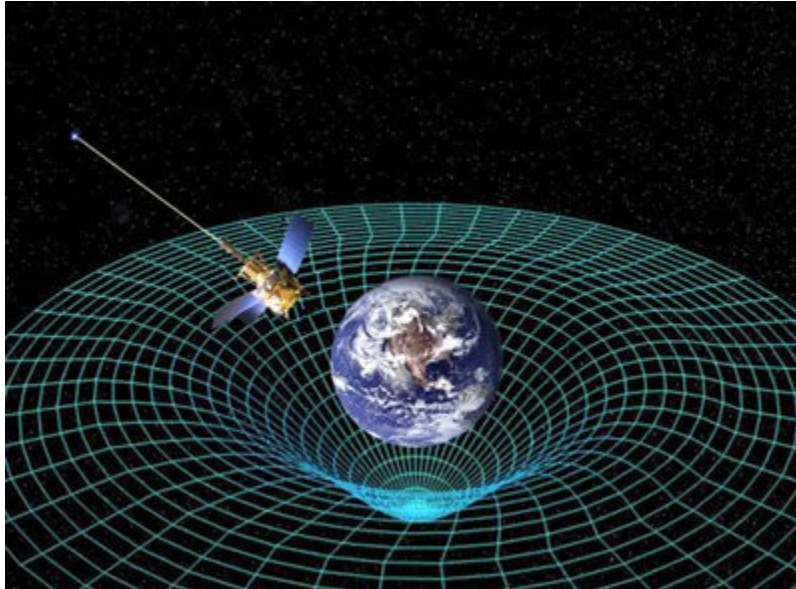
Katolik Roma, Georges Lemaître, mengajukan sebuah gagasan yang serupa: jika anda menelusuri sejarah jagat raya ke belakang, ke masa lampainya, jagat raya ini makin kecil dan makin kecil sampai anda tiba pada suatu peristiwa penciptaan, apa yang sekarang kita namakan the big bang. Istilah "the big bang" sendiri diciptakan oleh astrofisikawan Cambridge yang bernama Fred Hoyle pada tahun 1949, sebagai suatu istilah atau deskripsi ejekan. Hoyle sendiri percaya pada suatu jagat raya yang selamanya mengembang.

Fase pertama mengembangnya jagat raya dinamakan oleh para fisikawan sebagai *inflasi*. Pada saat inflasi kosmologis ini, jagat raya mengembang dengan suatu faktor yang sangat besar, setara dengan sebuah koin berdiameter 1 cm yang tiba-tiba meledak sampai mencapai sepuluh juta kali lebar galaksi Bima Sakti. Hal ini tampaknya melanggar hukum relativitas (khusus) yang menyatakan bahwa tidak ada sesuatupun yang dapat bergerak lebih cepat dari cahaya; tetapi batas kecepatan itu tidak berlaku bagi pengembangan ruang jagat raya sendiri. Pengembangan atau ekspansi jagat raya yang disebabkan oleh inflasi tidaklah seluruhnya seragam.

Bukti-bukti natural lainnya yang membenarkan adanya "dentuman besar" pada awal mula terbentuknya jagat raya adalah adanya radiasi gelombang mikro kosmik yang melatarbelakangi dan memenuhi seluruh jagat raya (CMBR= Cosmic Microwave Background Radiation). Selain itu, para astronom juga telah menemukan sidik-sidik jari lainnya yang mendukung gambaran tentang *the big bang* sebagai suatu jagat raya awal yang kecil dan panas. Sebagai contoh, selama menit-menit pertama, jagat raya lebih panas ketimbang pusat suatu bintang yang tipikal. Selama periode ini seluruh jagat raya bertindak selaku suatu reaktor fusi nuklir. Reaksi nuklirnya berhenti ketika jagat raya mengembang dan cukup mendingin. Menurut teori, ketika ini terjadi jagat raya yang dihasilkan adalah jagat raya yang terdiri terutama atas hidrogen, tetapi juga 23 persen helium, dengan jejak-jejak lithium (semuanya adalah elemen-elemen yang lebih berat yang tercipta belakangan, di dalam bintang-bintang). Kalkulasi ini ternyata sejalan dengan jumlah helium, hidrogen, dan lithium yang diobservasi manusia.

### *Teori relativitas umum Einstein, teori quantum, dan the big bang*

Teori relativitas umum Einstein memprediksi bahwa ada suatu titik dalam waktu di mana temperatur, densitas, dan peringkat lengkungan/kurvatura jagat raya semuanya tak terbatas (*infinite*), suatu situasi yang oleh para matematikawan dinamakan suatu singularitas. Bagi seorang fisikawan, ini berarti bahwa teori Einstein gagal pada titik ini dan karenanya tidak dapat digunakan untuk memprediksi bagaimana jagat raya dimulai, tetapi dapat digunakan hanya sejauh berkaitan dengan ihwal bagaimana jagat raya berevolusi sesudahnya. Selain itu, teori relativitas umum tidak memperhitungkan struktur skala kecil dari materi, yang diatur oleh teori quantum. Fisika quantum bisa diterapkan pada jagat raya pada saat terjadinya the big bang karena jika kita mundur cukup jauh ke waktu masa lampau, jagat raya sangat kecil, sekecil ukuran Planck, yakni sepermilyar trilyun-trilyun centimeter, yang merupakan ukuran yang dapat diperhitungkan oleh teori quantum. Dengan demikian, meskipun kita masih belum memiliki suatu teori quantum yang lengkap, kita sungguh tahu bahwa asal usul jagat raya adalah suatu peristiwa quantum. Karena itu, teori relativitas umum harus diganti oleh suatu teori yang lebih lengkap yang bisa menjelaskan "initial state", keadaan awal, yang melahirkan the big bang. Dalam hal ini, SH&LM melihat bahwa jika kita mau mundur dengan lebih jauh ke dalam waktu masa lampau dan mau memahami asal usul jagat raya, kita harus mengombinasikan teori relativitas umum dan teori quantum. Untuk mengetahui bagaimana teori gabungan ini bekerja, kita perlu mengerti prinsip bahwa gravitasi mencerukkan (*warp*) ruang dan waktu.



Materi sangat masif mencekukkan ruang-waktu

Materi dan energi mencekukkan ruang, sehingga mengubah jalannya objek-objek. Mencekuknya ruang dalam jagat raya memperpanjang atau memperpendek jarak di antara titik-titik dalam ruang, mengubah geometri atau bentuknya, dalam suatu cara yang dapat diukur dari dalam jagat raya. Demikian juga, materi dan energi mencekukkan waktu; mencekuknya waktu memperpanjang atau memperpendek interval waktu dengan suatu cara yang analogis. Pencerukan (*warping*) ruang dan waktu menyebabkan dimensi waktu "bercampur" dengan dimensi ruang; kedua dimensi ini saling mengait dan saling mengunci. Percampuran atau kesalingmengaitan antara waktu dan ruang ini penting di dalam jagat raya pada awalnya dan merupakan kunci untuk memahami permulaan waktu.

Meskipun teori relativitas umum Einstein menyatukan waktu dan ruang sebagai dimensi ruang-waktu dan melibatkan suatu percampuran tertentu ruang dan waktu, waktu masih berbeda dari ruang, dan keduanya memiliki suatu permulaan dan suatu akhir atau jika tidak demikian keduanya akan berlangsung abadi. Tetapi, kalau kita tambahkan efek-efek teori quantum kepada teori relativitas umum, maka dalam kasus-kasus yang ekstrim pencerukan dapat terjadi dengan sangat besar sehingga waktu berperilaku seperti sebuah dimensi lain dari ruang. Pada permulaan jagat raya, secara efektif ada empat dimensi ruang dan tidak ada dimensi waktu. Ini berarti bahwa kalau

kita memandang mundur jauh ke belakang dalam waktu, ke permulaan jagat raya, waktu sebagaimana kita kenal tidak ada! Kita harus menerima bahwa gagasan-gagasan lazim kita tentang ruang dan waktu tidak berlaku bagi jagat raya pada awalnya sekali. Ini berada di luar pengalaman kita, tetapi tidak di luar imajinasi kita, atau matematika kita.

Kesadaran bahwa waktu dapat berperilaku seperti sebuah arah lain dari ruang mengharuskan kita membuang masalah tentang waktu mempunyai sebuah permulaan, dengan cara yang sama kita membuang adanya sisi pinggir dunia yang melengkung. Anggaphlah permulaan jagat raya seperti Kutub Selatan Bumi, dengan derajat-derajat garis lintangnya berperan sebagai waktu. Kalau kita bergerak ke utara, lingkaran-lingkaran garis lintang konstan, yang menggambarkan ukuran jagat raya, akan bertambah. Jagat raya dimulai sebagai suatu titik di Kutub Selatan, tetapi Kutub Selatan sama dengan titik lain manapun. Pertanyaan apa yang terjadi sebelum permulaan jagat raya menjadi sebuah pertanyaan yang tak bermakna, karena tidak ada apapun di sebelah selatan Kutub Selatan. Dalam gambaran ini, ruang-waktu tidak memiliki batas. Dengan cara yang sama, ketika kita menggabungkan teori relativitas umum dengan teori quantum, pertanyaan apa yang terjadi sebelum permulaan jagat raya menjadi sebuah pertanyaan yang tak bermakna. Gagasan ini bahwa sejarah-sejarah haruslah merupakan permukaan-permukaan yang tertutup tanpa batas disebut kondisi tanpa batas.

*Jagat raya, karena fluktuasi quantum, ada dari ketiadaan*

Selama berabad-abad banyak orang, termasuk Aristoteles, percaya bahwa jagat raya harus selalu ada untuk menghindari soal bagaimana jagat raya dibangun. Orang lain percaya bahwa jagat raya mempunyai permulaan, dan menggunakannya sebagai sebuah argumen untuk menerima keberadaan Allah. Tetapi kesadaran bahwa waktu berperilaku seperti ruang menyajikan sebuah alternatif. Alternatif ini menyingkirkan keberatan yang sudah ada sangat lama terhadap jagat raya yang memiliki sebuah permulaan, bahkan juga berarti bahwa permulaan jagat raya diatur oleh hukum-hukum sains dan tidak perlu dibuat bergerak oleh suatu allah.

Jadi, permulaan jagat raya adalah suatu peristiwa quantum. Seperti sudah ditulis di atas tentang "sejarah-sejarah alternatif" dalam teori quantum, jagat raya tidak memiliki sejarah masa lampau tunggal, tetapi, dalam kenyataannya, ada banyak jagat raya dan masing-masing memiliki seperangkat berbeda hukum-hukum fisiknya dan sejarahnya sendiri-sendiri, dan semua jagat raya ini ada dengan spontan, dimulai dengan setiap cara yang mungkin. Gagasan ini disebut oleh sejumlah orang sebagai konsep *multiverse*.

Gambaran tentang jagat raya yang tercipta spontan dari fisika quantum menyerupai pembentukan gelembung-gelembung uap air di dalam air yang mendidih. Banyak gelembung kecil bermunculan, lalu lenyap lagi. Gelembung-gelembung kecil ini menggambarkan jagat-jagat raya kecil yang mengembang tetapi luruh lagi ketika masih dalam ukuran mikroskopis. Gelembung-gelembung kecil ini menggambarkan jagat-jagat raya alternatif yang mungkin ada, tetapi tidak berlangsung cukup lama untuk berkembang menjadi galaksi-galaksi dan bintang-bintang, apalagi kehidupan cerdas. Tetapi beberapa gelembung kecil akan tumbuh cukup besar sehingga mereka luput dari keruntuhan kembali. Mereka akan berlangsung terus untuk mengembang pada suatu besaran angka kecepatan yang terus makin bertambah dan akan membentuk gelembung-gelembung uap yang dapat kita lihat. Fluktuasi quantum (lihat di atas) bermuara pada penciptaan jagat-jagat raya kecil dari ketiadaan. Sedikit dari antaranya mencapai suatu ukuran kritis, lalu mengembang lewat inflasi kosmologis, membentuk galaksi-galaksi, bintang-bintang, dan, sedikitnya dalam satu kasus, makhluk cerdas seperti kita. Kita semua adalah produk dari fluktuasi-fluktuasi quantum dalam jagat raya yang sangat awal.

### **(7) The Apparent Miracle**

Gagasan bahwa jagat raya dirancang untuk mengakomodasi umat manusia muncul dalam teologi-teologi dan mitologi-mitologi yang berasal dari ribuan tahun lalu hingga sekarang ini di banyak tempat di muka Bumi. Dalam kebudayaan Barat, Perjanjian Lama, khususnya kisah tentang penciptaan, ditafsirkan memuat gagasan tentang rancangan atau desain yang dibuat Allah dalam rangka memelihara manusia sebagai puncak semua ciptaan. Gagasan Kristen tentang adanya desain ilahi dalam jagat raya



kuat dipengaruhi Aristoteles yang percaya “pada suatu dunia alamiah yang cerdas yang berfungsi menurut suatu desain yang seksama.” Teolog Kristen dari Abad Pertengahan, Thomas Aquinas, memakai gagasan Aristoteles mengenai tatanan dalam alam untuk mempertahankan keberadaan Allah. Penemuan yang relatif mutakhir yang memperlihatkan bahwa sangat banyak hukum alam, dan faktor-faktor lingkungan (*environmental factors*) dalam sistem matahari kita (misalnya kita hidup dalam suatu “Goldilocks zone”, zona yang dapat ditinggali manusia), yang dengan ekstrim telah “disetel dengan pas” (*fine tuned*) sehingga menghasilkan suatu jagat raya yang bersahabat dengan manusia untuk mereka dapat hidup di planet Bumi, dapat membuat orang kembali ke gagasan lama bahwa desain yang agung ini adalah pekerjaan suatu desainer atau perancang agung. Belakangan ini di Amerika Serikat gagasan lama ini muncul kembali dalam apa yang dikenal sebagai gagasan “intelligent design”, dengan sang desainernya tentu adalah Allah.

Tetapi sains modern tidak menjawab demikian. Adanya multiverse, ketimbang universe, membuat kita harus memandang habitat kosmik kita (yakni seluruh jagat raya yang dapat diamati) *hanyalah salah satu saja* dari banyak habitat kosmik lainnya, sama seperti sistem matahari kita adalah satu sistem bintang saja dari antara bermilyar-milyar sistem bintang dalam galaksi kita saja, belum lagi sistem-sistem bintang di banyak galaksi lain yang tak terhitung banyaknya. “Fine tuning” dalam hukum-hukum alam yang manusia dapat observasi dapat dijelaskan dengan mengacu ke multiverse, yang memungkinkan anggapan bahwa “fine tuning” juga dapat ditemukan di jagat-jagat raya lainnya, dalam multiverse yang majemuk. Gagasan tentang multiverse bukanlah suatu gagasan yang ditemukan untuk menjelaskan keajaiban “fine tuning”, tetapi merupakan suatu konsekwensi kondisi tanpa batas (yang sudah disebut di atas) dan banyak teori kosmologi modern lainnya. Jika ini benar, maka prinsip *antropik kuat* (bahwa fakta kita ada/hidup menimbulkan pembatasan-pembatasan bukan hanya pada lingkungan kita, tetapi juga pada bentuk dan isi yang mungkin dari hukum-hukum alam itu sendiri) dapat dengan efektif dipandang ekuivalen dengan prinsip *antropik lemah* (bahwa fakta kita ada/hidup membatasi karakteristik jenis lingkungan yang di dalamnya kita menemukan diri kita sendiri), sehingga menempatkan “fine tuning” hukum-hukum fisika pada landasan yang sama dengan faktor-faktor lingkungan yang juga “fine tuned”.

Banyak orang selama berabad-abad pada zaman mereka mengasalkan keindahan dan kompleksitas alam raya pada pekerjaan Allah, sebab mereka tampaknya tidak punya penjelasan-penjelasan saintifik atas fenomena alam ini. Tetapi sama seperti Charles Darwin dan Wallace menjelaskan bagaimana desain yang tampaknya ajaib dari bentuk-bentuk kehidupan dapat muncul tanpa intervensi suatu makhluk agung supernatural, konsep multiverse dapat menjelaskan "fine tuning" hukum-hukum fisika tanpa memerlukan adanya suatu pencipta yang baik hati yang telah membuat jagat raya demi kebaikan dan keuntungan buat manusia.

### **(8) The Grand Design**

Dalam bab penutup ini, SH&LM menjelaskan *The Game of Life* yang diinvensi pada tahun 1970 oleh seorang matematikawan muda di Cambridge yang bernama John Conway. Game ini sebenarnya bukan sebuah game (karena dalam game ini tidak ada pemain dan tidak ada yang kalah atau yang menang), melainkan seperangkat hukum yang mengatur suatu jagat raya dua dimensi. Game ini dipakai SH&LM sebagai sebuah contoh yang dapat membantu kita memikirkan soal-soal mengenai realitas dan ciptaan.

Dalam Game ini, jagat raya yang ditampilkan adalah suatu jagat raya yang deterministik, maksudnya: sekali anda mulai membangun suatu konfigurasi awal, atau kondisi inisial/awal, hukum-hukum dalam jagat raya ini menentukan apa yang akan terjadi di masa depan. Dengan memperhitungkan kondisi awal manapun, hukum-hukum ini melahirkan generasi demi generasi. Jagat raya yang dibayangkan Conway adalah suatu bangunan empat persegi, seperti papan catur, tetapi melebar tanpa batas ke segala arah. Sebagaimana dalam jagat raya kita, dalam *The Game of Life* realitas anda bergantung pada model yang anda gunakan.

Conway dan murid-muridnya menciptakan dunia ini karena mereka ingin mengetahui apakah suatu jagat raya yang lengkap dengan aturan-aturan mendasarnya, sesederhana seperti yang mereka definisikan, dapat berisi objek-objek yang cukup kompleks untuk mereplikasi diri. Conway dan murid-muridnya ingin tahu, apakah dalam dunia *The Game of Life* ada objek-objek campuran yang akan melahirkan objek-objek

lainnya yang sejenis setelah hanya mengikuti hukum-hukum yang berlaku dalam dunia itu selama beberapa generasi. Bukan hanya mereka dapat mendemonstrasikan bahwa hal itu mungkin, tetapi mereka juga bahkan berhasil memperlihatkan bahwa suatu objek semacam itu, dalam arti tertentu, cerdas. Mereka menunjukkan bahwa campuran besar bangunan segi empat yang mereplikasi diri itu adalah "mesin-mesin cerdas universal". Hal ini berarti bahwa bagi kalkulasi apapun yang sebuah komputer dalam dunia fisik kita dapat pada prinsipnya jalankan, jika mesin ini diberi input yang cocok (yakni, menyediakannya lingkungan dunia *The Game of Life* yang cocok), maka beberapa generasi kemudian mesin ini akan berada pada suatu keadaan yang dari dalamnya suatu output dapat dibaca yang sesuai dengan hasil kalkulasi komputer itu. Contoh *The Game of Life* Conway menunjukkan bahwa seperangkat sederhana hukum-hukum pun dapat menghasilkan fitur-fitur kompleks yang serupa dengan fitur-fitur kehidupan cerdas.

Pada dua halaman terakhir bab penutup, SH&LM bertanya, bagaimana seluruh jagat raya dapat diciptakan dari ketiadaan? Tidak lain, karena ada suatu hukum seperti gravitasi (selain karena adanya fluktuasi quantum seperti telah diulas di atas). Benda-benda langit seperti bintang-bintang dan lubang-lubang hitam tidak dapat ada hanya dari ketiadaan; tetapi seluruh jagat raya dapat. Karena ada suatu hukum seperti gravitasi, jagat raya dapat dan akan menciptakan dirinya sendiri dari ketiadaan, dalam suatu cara yang telah diurai dalam bab 6 buku GD. Penciptaan spontan adalah alasan mengapa ada sesuatu ketimbang tidak ada apapun, mengapa jagat raya ada, dan mengapa kita ada. Tidak perlu melibatkan Allah untuk menyalakan "kertas sentuh biru" dan membuat jagat raya jalan.

Dalam dua alinea terakhir buku GD, kedua penulisnya menyinggung kembali M-theory, dan menegaskan bahwa M-theory adalah teori gravitasi supersimetris yang paling umum dan merupakan satu-satunya kandidat bagi suatu teori lengkap mengenai jagat raya. Jika teori ini dikonfirmasi oleh observasi, maka ini akan merupakan suatu kesimpulan yang sukses dari suatu penyelidikan yang sudah berlangsung lebih dari 3000 tahun. Di dalam M-theory inilah kita menemukan *the grand design*.