

Alam Semesta di Ujung Tanduk: Mengapa Kita Tidak Musnah 13 Milyar Tahun Yang Lalu?

Reinard Primulando, Ph.D.

*“Tali [facili da intendersi] sono tutte le cose vere, doppo che son trovete;
ma il punto sta nel saperle trovare.”*

*“All truths are easy to understand once they are discovered;
the point is to discover them”*

Galileo Galilei

“Quid est veritas?”

Pontius Pilatus

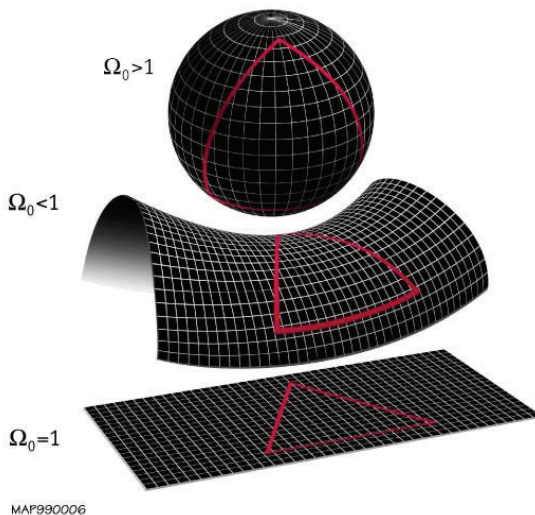
Alam semesta selalu menarik perhatian kita. Dari awal peradaban, manusia selalu mencari tahu kebenaran dari alam semesta. Bahkan sebelum ditemukannya teleskop, manusia telah mengetahui bahwa jarak dari antara bumi matahari sangatlah jauh. Namun ajaibnya adalah semakin kita menguak misteri alam, semakin misterius alam bagi kita. Contoh historisnya adalah ketika para fisikawan dan insinyur pada tahun 1700-an berusaha untuk mengerti tentang mesin uap dan mengembangkan hukum termodinamika, mereka menemukan satu fakta menarik bahwa keacakan dari sebuah sistem (entropi) selalu bertambah. Tidak ada penjelasan mengapa derajat keacakan dari sebuah sistem bisa bertambah selain hanya dari pengamatan saat itu. Penjelasan mengapa keacakan sistem bertambah datang ketika mekanika statistik dikembangkan pada akhir abad ke 19. Namun, salah satu ramalan dari mekanika statistik ini adalah suatu fenomena yang dinamakan bencana ultraviolet, yang berarti setiap benda memancarkan radiasi dengan energi tak berhingga. Artinya jika anda memandang benda, walaupun sedingin es sekalipun, mata dan muka anda akan terbakar. Saat ini anda sedang membaca tulisan ini dan saya yakin mata anda tidak sedang terbakar, sehingga bencana ultraviolet ini tidak pernah terjadi di kehidupan nyata. Pemahaman para fisikawan tentang alam semesta pada masa itu harus diperbaharui. Hal inilah yang merupakan cikal bakal lahirnya teori kuantum pada awal abad ke 20. Dengan adanya teori kuantum yang dicetuskan oleh fisikawan besar pada zamannya seperti, Albert Einstein dan Max Planck, ketidakberadaan bencana ultraviolet dapat dijelaskan. Teori kuantum bukanlah jawaban akhir, karena masih banyak pertanyaan dari teori ini, misalkan apakah interpretasi Kopenhagen merupakan kebenaran dari interpretasi kuantum? Bagaimana menggabungkan teori kuantum dengan gravitasi? Walaupun pertanyaan terus ada, bukan berarti dengan teori yang tidak lengkap kita tidak dapat membawa kemajuan bagi umat manusia. Contohnya dengan teori termodinamika, kita bisa mengembangkan berbagai mesin pembakaran yang dampaknya kita bisa rasakan baik di dunia industri maupun transportasi. Teori kuantum membawa perubahan lebih besar lagi. Dunia elektronik, misalnya komputer

dan telepon genggam bahkan revolusi industri 4.0, tidak akan pernah bisa dibuat tanpa adanya pengertian mengenai teori kuantum! Dalam orasi ini saya akan menceritakan perkembangan “kebingungan” fisikawan masa kini. Dengan adanya “kebingungan” ini, justru ada tantangan agar kita dapat mengungkapkan lebih jauh mengenai misteri dari alam semesta.

Alam Semesta Datar

Pertanyaan para filsuf Yunani pada zaman sebelum Masehi adalah bentuk dari bumi kita. Walaupun terlihat datar, filsuf seperti Pythagoras dan Aristoteles telah percaya bahwa bumi berbentuk bulat berdasarkan pengamatan yang mereka lakukan. Bahkan Erasthones pada abad tahun 240 sebelum Masehi telah berhasil mengukur jari-jari bumi dengan keakuratan sekitar 10%.

Setelah pertanyaan mengenai bentuk dan ukuran bumi dapat diselesaikan. Perhatian para ilmuwan beralih mengenai bentuk dan ukuran alam semesta. Titik terang dari pencarian ini adalah dengan kemajuan dari teori gravitasi, yakni dengan perumusan dari teori gravitasi Einstein pada tahun 1915. Dari solusi persamaan Einstein, didapatkan tiga kemungkinan bentuk dari alam semesta: datar, melengkung terbuka atau melengkung tertutup, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Ada satu variabel yang menentukan bentuk dari alam semesta yakni Ω . Jika $\Omega < 1$, maka alam semesta akan berbentuk melengkung terbuka, seperti sebuah pelana kuda (secara lokal). Jika $\Omega > 1$, maka alam semesta akan berbentuk melengkung tertutup, seperti bentuk bola. Sedangkan jika $\Omega = 1$, maka alam semesta akan berbentuk datar. Semakin jauh nilai Ω berbeda dari 1, semakin melengkung alam semesta kita.



Gambar 1: Bentuk alam semesta. Gambar diambil dari <http://en.wikipedia.org>

Titik terang kedua didapat dari pengamatan radiasi kosmis latar. Radiasi kosmik latar merupakan radiasi dengan panjang gelombang rata-rata sekitar 1 mm. Informasi mengenai temperatur alam semesta dapat diberikan oleh radiasi kosmis latar. Ternyata fluktuasi temperatur alam semesta ditentukan oleh bentuk alam semesta. Dari pengamatan terbaru satelit Planck¹ didapatkan bahwa alam semesta memiliki $\Omega = 1,001 \pm 0,002$. Hasil ini menunjukkan alam semesta bersifat datar, ataupun kalau melengkung hanya melengkung sedikit. Tampak tidak ada masalah dari pernyataan di atas. Namun kita mempelajari dinamika alam semesta, kita akan mengetahui bahwa alam semesta (hampir) datar sangat istimewa. Permasalahannya jika kita memiliki alam semesta hampir datar sekarang, maka alam semesta di masa lalu harus jauh lebih datar lagi, jika tidak maka kita akan musnah. Sebagai contoh, misalkan saat $t = 10^{-36}$ detik² alam semesta memiliki kerapatan $\Omega = 1,1$, maka alam semesta dapat terus mengembang namun diperlambat. Saat $t = 10^{-35}$ detik, alam semesta akan berhenti mengembang dan mulai mengerut akibat tarikan gravitasi. Pada waktu $t = 2 \times 10^{-35}$ detik alam semesta berkumpul menjadi satu titik dan musnah! Jadi dalam kasus ini, alam semesta hanya berumur 2×10^{-35} detik. Tentu saja ini sangat jauh dari umur alam semesta yang kita amati, yakni 13,8 miliar tahun. Bagaimana jika awalnya alam semesta sedikit lebih datar? Jikasaat $t = 10^{-36}$ detik besar $\Omega = 1,001$, umur alam semesta menjadi sedikit lebih panjang yakni 2×10^{-33} detik. Bagaimana jika $\Omega = 1,000000000001$, alias 1 ditambah dengan satu per triliun? Alam semesta akan musnah saat $t = 2 \times 10^{-24}$ detik. Kepakan sayap nyamuk saja jauh lebih lambat dari itu. Bagaimana caranya agar alam semesta bisa berumur panjang, setidaknya-tidaknya 13.8 milyar tahun? Syaratnya adalah kelengkungan alam semesta tidak boleh lebih besar dari $1 + \frac{1}{10^{54}}$. Sebagai gambaran, banyaknya bintang di langit adalah sekitar 10^{24} bintang³ dan banyaknya pasir di tepi pantai sekitar 10^{18} butir⁴. Bagaimana jika $\Omega < 1$? Dalam kasus ini, alam semesta tidak akan berbalik mengecil, malahan alam semesta mengembang dengan cepat. Namun karena cepatnya, alam semesta akan mencabik-cabik isinya sehingga kerapatan materi menjadi sangat rendah. Dengan rendahnya kerapatan materi ini, maka galaksi, bumi dan kita tidak akan pernah terbentuk. Syarat agar kita dapat terbentuk adalah kerapatan alam semesta di awal tidak boleh lebih kecil dari $1 - \frac{1}{10^{54}}$.

Finely-Tuned Universe

Angka di atas tampak tidak istimewa. Pada umumnya anda tidak akan sadar jika uang di salah satu tabungan anda berubah Rp 34.453.567,36 menjadi Rp 34.453.567,37. Angka berapapun di tabungan anda asalkan perubahannyatidak terlalu besar ataupun terlalu kecil, tidak akan membuat anda terkejut. Lalu apa pentingnya angka $\Omega = 1$, $\Omega = 1 + \frac{1}{10^{54}}$ atau $\Omega = 1 + \frac{2}{10^{54}}$? Mungkin saja alam semesta di awalnya memiliki $\Omega = 1 + \frac{1}{10^{54}}$. Apakah angka tersebut tidak istimewa?

Namun sistem alam semesta kita berbeda dengan sistem jumlah uang di tabungan anda. Bayangkan jika ada kesalahan di sistem sehingga jika tabungan anda lebih kecil dari Rp 34.453.567,35 atau lebih besar dari Rp 34.453.567,37 menyebabkan uang anda hangus. Tentu saja anda akan lebih sadar tentang angka Rp 34.453.567,36 dan memastikan agar transfer keluar dan masuk selalu tepat sehingga tabungan anda terus berada di angka tersebut. Kemudian anda akan bertanya-tanya kesalahan apa yang terjadi dengan sistem bank anda sehingga anda harus sangat memperhatikan tabungan anda.

Untuk ilustrasi lainnya, anda diberi tugas mendirikan sebuah pensil. Tentu saja anda punya dua pilihan: mendirikan pensil tersebut di ujung datarnya atau di ujung lancipnya. Tidak perlu lulus mata kuliah Fisika Dasar untuk mengetahui bahwa mendirikan sebuah pensil lebih gampang dilakukan pada ujung datarnya. Alasannya sebenarnya cukup jelas. Jika kita dirikan pensil tepat tegak lurus (sudut 90^0), maka pensil akan tegak berdiri. Namun untuk ujung datar kita tidak perlu terlalu tepat tegak lurus. Asalkan kita bisa mendirikan pensil antara sudut 88^0 dan 92^0 , pensil sudah akan tegak. Namun jika kita mendirikan pensil ada sudut lancipnya, maka kita harus mendirikan pensil dengan sudut lebih kecil dari 0.1^0 bedanya dari 90^0 . Sangat sukar! Bayangkan kita harus mendirikan pensil dengan sudut $\frac{1^0}{10^{54}}$ bedanya dari 90^0 . Mustahil sekali! Alam semesta juga begitu, harus sangat persis kondisi awalnya. Jika tidak, masalahnya bukan pensil yang jatuh. Tapi kita tidak akan pernah ada!

Inflasi Alam Semesta

Jika anda melihat pensil yang berdiri sendiri di ujung lancipnya, anda pasti akan mengira bahwa ada trik tersendiri. Entah pensilnya ditahan oleh tali yang tidak kelihatan. Mungkin di dalam pensil ada magnet yang menahannya. Anda akan memikirkan berbagai mekanisme untuk menjelaskan hal yang tampaknya mustahil ini. Demikian yang terjadi tentang fisikawan yang berpikir mengenai alam semesta. Bagaimana caranya menjelaskan alam semesta yang tampaknya tidak mungkin ini?

Salah satu solusi paling populer dari permasalahan ini adalah inflasi alam semesta⁵. Dalam model inflasi ini, sesaat setelah tercipta di Ledakan Besar (*Big Bang*) alam semesta sesaat mengembang sangat cepat (eksponensial), lebih cepat dari pengembangan alam semesta di masa-masa lainnya. Ketika saat alam semesta mengembang dipercepat, segala kelengkungan yang ada ikut tertarik oleh pengembangan alam semesta seperti kita menarik kain yang berkerut-kerut dengan disentakkan. Akibatnya alam semesta kita akan menjadi sangat datar di akhir masa inflasi walaupun kondisi awalnya tidak terlalu datar. Inflasi inilah, walaupun seluruh prosesnya terjadi ketika umur alam semesta belum sampai satu detik, menyelamatkan kehidupan kita dari musnahnya alam semesta.

Pertanyaan selanjutnya apa yang menyebabkan alam semesta tiba-tiba mengembang dipercepat? Teori saat ini adalah sebuah partikel/medan skalar yang disebut dengan inflaton bertanggung jawab atas inflasi alam semesta. Inflaton ini tidak terapat dalam daftar partikel yang kita pernah amati. Sehingga salah satu tantangan dalam fisika dan astronomi adalah bagaimana caranya menemukan partikel inflaton ini⁶.

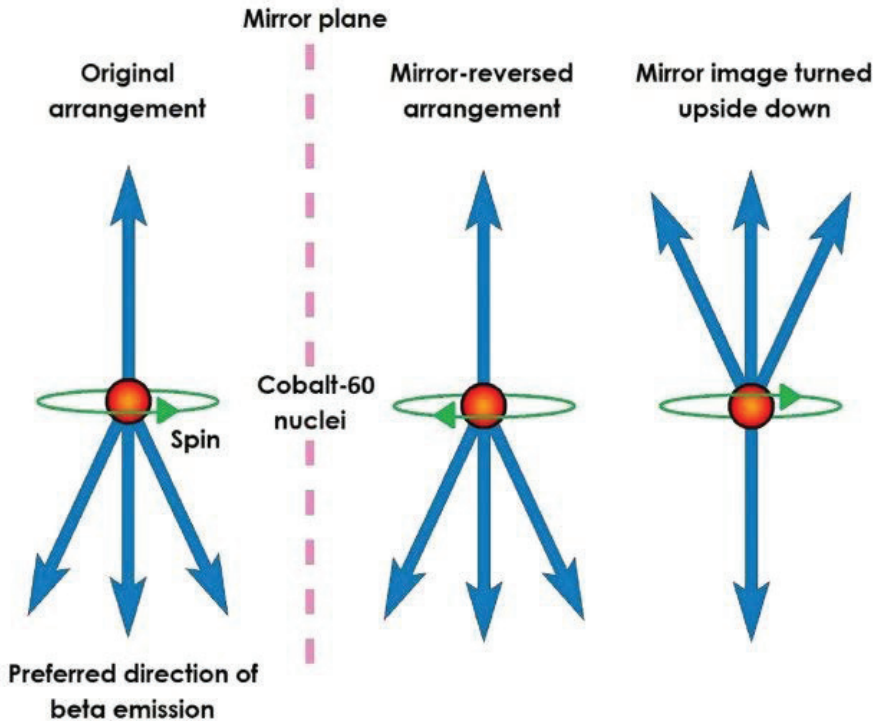
Partikel Memiliki Pasangan

Peramalan partikel baru bukanlah hal yang istimewa pada fisika partikel. Pada tahun 1928, ketika mencoba menggabungkan teori relativitas khusus dan teori kuantum, Paul Dirac meramalkan partikel baru. Bukan hanya sebuah partikel baru, namun banyak sekali partikel baru. Dirac meramalkan bahwa setiap partikel bermuatan, seperti elektron dan proton, memiliki pasangan. Pasangan ini memiliki semua sifat yang sama, kecuali muatannya berlawanan. Pasangan tersebut diberi nama antipartikel, sehingga proton memiliki anti-proton, neutron memiliki anti-neutron dan elektron memiliki anti-elektron (positron). Secara teori, mungkin saja manusia memiliki anti-manusia. Namun jika anda bertemu dengan anti-anda, jangan pernah bersalaman dengan anti-anda. Partikel dan antipartikel jika bersentuhan akan saling memusnahkan dan berubah menjadi cahaya⁷. Positron adalah antipartikel pertama yang ditemukan. Carl Anderson menemukan positron pada sinar kosmis pada tahun 1932. Saat ini anti partikel dapat dibuat pada berbagai akselerator partikel⁸. Antipartikel adalah topik utama dari novel *Angel and Demons* karya Dan Brown.

Gambaran Samar-samar di Cermin

Jika kita lihat di sekitar kita, seluruh barang-barang yang ada di sekitar kita terdiri atas materi dan bukan anti-materi. Bahkan bumi dan galaksi terdiri atas materi. Sejauh alam semesta kita memandang, isinya hanya ada materi. Lalu kemanakah anti-materi? Hukum fisika yang kita ketahui sekarang bisa menjelaskan mengapa materi jumlahnya lebih banyak dari antimateri. Namun prediksi jumlah materi dari hukum fisika ini 10^{10} kali lebih sedikit daripada jumlah materi yang diamati. Jika jumlah materi di badan kita dikurangi hingga 10^{10} kali lipat maka kita hanya akan seberat butiran debu. Tentu saja jumlah materi yang sedikit tidak dapat mendukung keberadaan kita. Jadi bagaimana cara mendapatkan materi 10^{10} kali lipat lebih banyak? Shkarov dalam karyanya memberikan tiga buah syarat agar jumlah materi menjadi 10^{10} kali lipat lebih banyak⁹. Dari ketiga syarat tersebut yang paling menarik adalah syarat pelanggaran simetri CP (*charge-parity*). Simetri *charge* berarti hukum fisika yang sama berlaku untuk partikel dan antipartikel. Simetri *parity* artinya kita tidak tahu apakah partikel yang kita lihat itu adalah partikel yang nyata atau bayangannya di cermin. Hal ini terjadi karena hukum fisika yang sama berlaku walaupun dalam bayangan di cermin sekalipun. Namun pada tahun 1956 Chien-Shiung Wu mengamati bahwa dalam peluruhan Cobalt-60, kita dapat membedakan apakah percobaan peluruhan tersebut dilakukan pada alam kita atau alam cermin. Maka dalam skala mikroskopis paritas telah dilanggar. Malahan pada tahun 1964 telah dibuktikan dalam sistem partikel Kaon, simetri C dan P dilanggar sekaligus. Jadi sebetulnya hukum fisika yang kita

punyai saat ini dapat digunakan untuk menjelaskan mengapa lebih banyak materi dibandingkan dengan antimateri. Namun seperti yang telah diutarakan di atas, jumlah materi yang diramalkan sangat jauh dari yang diamati. Artinya kita membutuhkan sumber pelanggaran CP yang baru yang tidak dapat dijelaskan dengan hukum fisika saat ini. Inilah salah satu pencarian besar dari fisika partikel.



Skema dari percobaan Wu. Sumber: <http://www.thestargarden.co.uk>

Partikel Tuhan

Misalkan skenario inflasi terjadi, maka alam semesta dijamin memiliki umur yang panjang. Kemudian misalkan baryogenesis terjadi maka alam semesta, maka setelah umur alam semesta beberapa detik, alam semesta memiliki materi yang cukup untuk membuat galaksi, bintang, planet dan manusia. Namun ternyata masih ada beberapa parameter fisis yang dapat menyebabkan kita tidak dapat terbentuk. Salah satunya adalah *vacuum expectation value* (vev) dari partikel Higgs.

Partikel Higgs, yang di media terkadang disebut partikel Tuhan, adalah partikel fundamental terakhir yang ditemukan¹⁰. Partikel yang baru terlihat di *Large Hadron Collider* pada tahun 2012 ini bertanggung jawab untuk memberikan massa pada

seluruh partikel fundamental. Nilai vev yang teramati adalah 246 GeV, jika nilai vev lebih besar maka massa seluruh partikel fundamental akan menjadi lebih besar. Seperti kasus sebelumnya, kita bisa anggap angka 246 GeV sebagai parameter biasa saja. Tidak ada bedanya jika besar vev 245 GeV atau 10000 GeV.

Tirai Kuantum

Namun alam kuantum ternyata sangat unik. Terkadang alam kuantum tidak membiarkan satu angka tetap sama di seluruh skala panjang (atau energi). Salah satu fondasi dari teori kuantum adalah prinsip ketidakpastian Heisenberg. Bentuk dari prinsip ketidakpastian Heisenberg adalah ketidakpastian dari besaran momentum dan besaran jarak saling berkorelasi. Jika semakin pasti kita mengukur jarak, maka besaran momentum akan semakin tidak pasti. Jika kita mengukur partikel dengan sangat presisi, maka nilai dari ketidakpastian momentum menjadi sangat besar, sehingga menurut kuantum hal ini dapat diterjemahkan menjadi kemungkinan munculnya pasangan partikel dan antipartikel yang terjadi secara sesaat. Pasangan partikel antipartikel ini disebut dengan partikel *virtual*. Penciptaan partikel *virtual* ini telah diamati dalam berbagai eksperimen. Contohnya saat ini telah diamati bahwa muatan listrik bergantung dari jarak pengamatan kita. Jika kita mengukur muatan elektron dari jarak relatif cukup jauh, misalkan 1 cm, kita akan dapatkan muatan yang ada di buku-buku Fisika Dasar yakni $1,60 \times 10^{-19}$ Coulomb. Namun jika kita melihat yang jauh lebih dekat, pada jarak 1 attometer, maka muatan elektron menjadi $1,70 \times 10^{-19}$ Coulomb. Muatan ekstra ini datang karena pada jarak yang dekat kita sudah melewati “tirai” dari pasangan partikel *virtual* yang melindungi muatan “sebenarnya” dari elektron.

Hal yang sama juga terjadi pada vev dari Higgs. Angka 246 GeV bergantung pada koreksi kuantum. Saat ini kita telah mengetahui fisika hingga pada jarak sekitar 1 attometer. Namun kita mengetahui bahwa fisika pada jarak yang jauh lebih kecil yakni 10^{-35} meter harus ada fisika baru yang bisa menjelaskan teori gravitasi Einstein dan mekanika kuantum. Permasalahannya adalah jika tidak ada fisika baru pada jarak 10^{-18} meter hingga 10^{-35} meter, maka prediksi dari vev Higgs adalah 100 YeV, 10^{17} kali lebih besar dari angka yang diamati.

Alam semesta yang memiliki vev Higgs 100 YeV terlihat berbeda sekali dengan alam semesta kita. Karena nilai vev dari Higgs sangat besar, maka nilai massa dari seluruh partikel di alam semesta akan menjadi sangat besar. Akibatnya proton dan neutron tidak lagi stabil dan atom tidak dapat lagi terbentuk. Jika atom tidak dapat terbentuk, maka kita tidak akan ada. Maka nilai vev Higgs sebesar 246 GeV sangat penting untuk keberadaan kita.

Ada beberapa penjelasan mengapa nilai vev dari Higgs sebesar 246 GeV. Salah satunya adalah melakukan mengatur secara persis parameter dari hukum fisika yang sekarang. Keakuratan yang diperlukan adalah dalam orde 10^{17} , sehingga jika kita

mengubah parameter tersebut dari 1.0000000000000002 menjadi 1.0000000000000009, proton menjadi tidak stabil dan kita tidak akan ada. Solusi kedua adalah adanya fisika baru yang mengisi jarak 10^{-18} meter hingga 10^{-35} . Fisika baru ini dapat dalam bentuk yang cukup menarik. Salah satunya adalah supersimetri, di mana setiap partikel memiliki pasangan dengan spin yang berbeda. Solusi lainnya adalah dimensi ekstra, di mana selain tiga dimensi ruang, terdapat beberapa dimensi ruang lain yang ukurannya sangat kecil. Kedua solusi ini beserta solusi-solusi lainnya sedang dicari pada akselerator partikel di dunia seperti di LHC.

Adakah Kehidupan di Alam Semesta?

Salah satu pertanyaan menarik dari astronomi adalah: “Apakah Bumi merupakan satu-satunya tempat kehidupan?” Saat ini kita aktif mencari kehidupan baru itu. Namun apakah ada harapan untuk menemukannya? Salah satu metoda untuk memperkirakannya dikenal dengan persamaan Drake. Dalam salah satu bentuk yang sangat sederhana persamaan Drake, jumlah planet yang memiliki kehidupan di galaksi Bima Sakti (N) dapat dituliskan sebagai

$$N = J \times f_p \times f_h$$

dengan J adalah jumlah bintang di galaksi Bima Sakti, f_p adalah peluang sebuah bintang memiliki planet, f_h adalah peluang jumlah planet berada pada zona yang dapat mendukung kehidupan. Jumlah bintang di galaksi Bima Sakti amat banyak, ada sekitar 250 milyar. Dari pengamatan, hampir semua bintang memiliki planet, sehingga $f_p = 1$. Peluang planet berada pada zona yang memiliki kehidupan sedikit lebih kontroversial, anggaphlah dalam kasus ini $f_h = 1\%$. Sehingga jumlah bintang di galaksi Bima Sakti yang memiliki kehidupan lebih satu milyar. Banyak sekali bukan? Namun untuk menemukan kehidupan tersebut, apalagi kehidupan cerdas peluangnya jauh lebih kecil.

Bagaimana sekarang jika pertanyaannya diganti. Berapakah peluang alam semesta yang memiliki kehidupan? Berdasarkan pemahasan sebelumnya, jika tidak ada fisika baru, maka peluang alam semesta memiliki kehidupan setidaknya

$$N = J \times 10^{-54} \times 10^{-10} \times 10^{-17} = J \times 10^{-81}$$

Jumlah alam semesta kita cuma satu bukan? Jika benar, maka sangat-sangat tidak mungkin alam semesta kita memiliki kehidupan. Peluang kita tersambar petir dua kali dalam kehidupan kita hanya 10^{-10} . Jadi lebih mungkin kita tersambar petir dua kali¹¹ daripada memiliki kehidupan!

Agar kehidupan bisa ada, ada dua kemungkinan yang dapat terjadi. Yang pertama adalah masing-masing peluang di atas tidak sekecil yang tertulis di atas dengan hadirnya fisika baru yaitu inflasi alam semesta, pelanggaran CP, supersimetri, dimensi ekstra, dll. Namun ada satu hal menarik yang dapat juga menjadi solusi. Bagaimana jika J ternyata lebih dari satu? Artinya jumlah alam semesta lebih dari satu, malahan jumlah alam semesta harus lebih dari 10^{81} agar setidaknya terdapat satu alam semesta yang memiliki kehidupan. Solusi ini membutuhkan agar ada alam semesta

lain seperti alam semesta kita. Jumlah alam semesta lain ini sangat banyak, lebih banyak dari jumlah total pasir yang ada di seluruh pantai di muka bumi.

Solusi kedua, yang sering disebut dengan *multiverse* terdengar cukup aneh. Namun fisikawan cukup serius dalam menggagasnya. Hal ini didukung oleh salah satu teori yang mencoba menggabungkan seluruh teori fisika yang ada, yakni teori *string*. Dalam teori ini ada banyak sekali kemungkinan alam semesta, sebesar 10^{200000} kemungkinan¹². Jika jumlah alam semesta sebanyak itu, tentu saja akan lebih dari satu alam semesta yang mendukung kehidupan.

Permasalahan dari gagasan *multiverse* ini adalah saat ini, belum ada satupun cara untuk menguji kebenaran dari gagasan itu. Alam semesta lain jelas-jelas tidak berada di alam semesta kita. Bagaimana kita dapat ke sana dan mengujinya? Padahal salah satu dasar dari metoda ilmiah adalah pengujian kebenaran dari satu gagasan. Jika anda menggagas sebuah teori fisika, anda harus menawarkan cara untuk membuktikan agar teori anda salah. Salah satu komentar yang konon keluar dari fisikawan terkenal Wolfgang Pauli mengenai sebuah teori yang cukup mengawang-awang adalah: "*Das ist nicht nur nicht richtig; es ist nicht einmal falsch!*", yang artinya "(teori anda) bukan hanya tidak benar; bahkan tidak salah!" Walaupun demikian fisikawan masih terus berusaha mengembangkan gagasan *multiverse* ini dengan harapan satu hari akan menemukan cara untuk menguji ide ini.

Kontribusi UNPAR

Dalam edisi *Special Report* dari majalah Nature dan Scientific American, permasalahan di atas termasuk dalam *The Biggest Questions in Science*¹³. UNPAR memiliki kesempatan untuk *Go Beyond* dalam arti mencoba mencari solusi dari pertanyaan yang tidak seorangpun di dunia ini mengetahui jawabannya. Dari segi jumlah dosen yang berkaitan dengan Fisika, UNPAR memang cukup kecil, baik di skala nasional maupun di skala internasional. Namun dengan ukuran yang kecil tersebut, tidak menghalangi UNPAR untuk maju menjawab segala permasalahan fundamental dari alam semesta. Dalam kurun waktu kurang dari 4 tahun, yakni 2016 hingga bulan Maret 2019, UNPAR telah menghasilkan publikasi berupa 8 jurnal (seluruhnya Q1) dan satu proceeding dalam bidang Fisika Teori¹⁴. Jumlah ini tidak kalah banyaknya dengan grup Fisika Teori lainnya di berbagai universitas atau lembaga penelitian lainnya di Indonesia. Menariknya bukan hanya dosen yang menghasilkan karya tersebut, namun ada mahasiswa yang berhasil menjadi *single author* pada paper Q1¹⁵. Selain itu pada tahun 2017 yang lalu UNPAR juga diberi kesempatan untuk menjadi tuan rumah pada The Conference on Theoretical Physics and Nonlinear Phenomena, sebuah konferensi tahunan yang diselenggarakan oleh Grup Fisikawan Teori Indonesia¹⁶.

Pencarian kebenaran dari alam semesta adalah kesempatan untuk UNPAR menjadi *The Great UNPAR* dengan bersama-sama dengan seluruh umat manusia untuk menguak *the great mysteries of our universe*. Saya tutup tulisan ini dengan kutipan

dari Savas Dimopoulos, fisikawan dari Stanford University peraih Sakurai Prize: “*Why do humans do science? Why do they do art? The things that are least important for our survival, are the very things that make us **human.***”

Catatan Kaki

¹N. Aghanim, et.al., Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters, arXiv:1807.06209.

²Yakni waktu *Grand Unified Theory*

³https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel/How_many_stars_are_here_in_the_Universe

⁴<https://www.npr.org/sections/krulwich/2012/09/17/161096233/which-is-greater-the-number-of-sand-grains-on-earth-or-stars-in-the-sky>

⁵A.H. Guth, The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems, Phys. Rev. D **23**, 347 (1981)

⁶Pada hampir semua model inflasi, inflaton tidak dapat diproduksi oleh mesin manapun yang ada di bumi saat ini. Sehingga cara paling mungkin untuk menemukan inflaton adalah dengan mencari jejaknya pada radiasi latar belakang kosmis.

⁷Prinsip inilah yang dipakai pada PET atau *positron electron tomography*. Positron yang dipancarkan dari peluruhan lemah zat yang disuntikkan ke tubuh akan bersentuhan dengan elektron yang berada pada tubuh. Ketika mereka bersentuhan, maka akan terpancar sinar gamma yang memiliki energi khas yakni 511 keV. Sinar gamma inilah yang relatif mudah dideteksi sehingga dapat digunakan untuk memetakan tubuh.

⁸Salah satu mahasiswa S1 Fisika UNPAR, Meuita Wulansatiti, mendapat kesempatan untuk terjun langsung dalam pembuatan antipartikel dalam eksperimen ATRAP di CERN, Genewa.

⁹A. D. Sakharov, Violation of CP invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the universe, JETPL **5**, 24 (1967)

¹⁰G. Aad, et al., Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Phys. Lett. B **716**, 1 (2012)

S. Chatrchyan et al., Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, Phys. Lett. B **716**, 30 (2012)

Terdapat dua warga negara Indonesia yang ikut langsung dalam penemuan partikel Higgs yakni Rahmat, Ph.D. dan Suharyo Sumowidagdo, Ph.D.

¹¹Dan ada orang yang terkena petir dua kali. Contoh beritanya: <https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2015/jan/23/experience-i-was-struck-by-lightning-twice-beth-peterson>

¹²W. Taylor and Y. N. Wang, The F-theory geometry with most flux vacua, JHEP **1512**, 164 (2015)

¹³<https://www.nature.com/collections/mnwshvsswk>

¹⁴Data terbaru dapat dilihat pada database fisika energi tinggi: <https://inspirehep.net/search?p=%22Parahyangan%20Catholic%20U.%22&f=affiliation>

¹⁵Dan bukan sembarang jurnal Q1. Canisius Bernard berhasil menuliskan karya pada Physical Review D. Jurnal yang sama tempat Alan Guth mengemukakan teori inflasinya, atau Glashow, Iliopoulos dan Maiani meramalkan kehadiran kuark keempat, serta berbagai paper terkenal lainnya.

¹⁶Situs konferensi: <http://situs.opi.lipi.go.id/ctpnp2017/>

Reinard Primulando

**Departemen Fisika
Universitas Katolik Parahyangan
Gedung 9, Jalan Ciumbuleuit 94
Bandung 40141 Indonesia
email: rprimulando@unpar.ac.id**



Pendidikan

- Ph.D. Fisika, The College of William and Mary, 2012.
Disertasi: “Dark Matter in the Heavens and at Colliders: Models and Constraints.”
- M.Sc. Fisika, The College of William and Mary, 2009.
- S.Si. Fisika, Cum Laude, Institut Teknologi Bandung, 2006.

Pengalaman Kerja

- Universitas Katolik Parahyangan, Dosen, 2015-sekarang
- The Johns Hopkins University, Postdoctoral Fellow, 2012-2015

Publikasi Riset

- R. Primulando and P. Uttayarat, “Dark matter-neutrino interaction in light of collider and neutrino telescope data,” JHEP 06 (2018) 026.
- R. Primulando and P. Uttayarat, “Probing Lepton Flavor Violation at the 13 TeV LHC,” JHEP 05 (2017) 055.
- Gupta, R. Primulando, P. Saraswat, “A New Probe of Dark Sector Dynamics at the LHC,” JHEP 09 (2015) 079.
- R. Primulando, E. Salvioni, Y. Tsai, “The Dark Penguin Shines Light at Colliders,” JHEP 07 (2015) 031.
- R. Harnik, A. Martin, T. Okui, R. Primulando and F. Yu, “Measuring CP Violation in $h \rightarrow \tau^+\tau^-$ at Colliders,” Phys. Rev. D88, 076009 (2013).
- J. Kopp, E. T. Neil, R. Primulando, J. Zupan, “From Gamma Ray Line Signals of Dark Matter to the LHC,” Phys. Dark. Univ. 2, 22 (2013).
- P. J. Fox, R. Harnik, R. Primulando and C. -T. Yu, “Taking a Razor to Dark Matter Parameter Space at the LHC,” Phys. Rev. D86, 015010 (2012).
- W. Altmannshofer, R. Primulando, C. -T. Yu and F. Yu, “New Physics Models of Direct CP Violation in Charm Decays,” JHEP 1204, 049 (2012).

- D. Carone, A. Cukierman, R. Primulando, "On the Cosmic-Ray Spectra of Three-Body Lepton-Flavor- Violating Dark Matter Decays," Phys. Lett. B704, 541-546 (2011).
- D. Carone, R. Primulando, "A Froggatt-Nielsen Model for Leptophilic Scalar Dark Matter Decay," Phys. Rev. D84, 035002 (2011).
- G. Marshall, R. Primulando, "The Galactic Center Region Gamma Ray Excess from A Supersymmetric Leptophilic Higgs Model," JHEP 1105, 026 (2011).
- D. Carone, J. Erlich, R. Primulando, "Decaying Dark Matter from Dark Instantons," Phys. Rev. D82, 055028 (2010).
- C. D. Carone, R. Primulando, "Combined Constraints on Holographic Bosonic Technicolor," Phys. Rev. D82, 015003 (2010).
- C. D. Carone, R. Primulando, "Constraints on the Lee-Wick Higgs Sector," Phys. Rev. D80, 055020 (2009).

Pengalaman Mengajar

Universitas Katolik Parahyangan

- PHY183103 Pengantar Fisika Partikel, Pengajar
- APS428 Teori Medan Kuantum, Pengajar
- APS427 Mekanika Kuantum Relativistik, Pengajar
- PHY183011 Fisika Kuantum, Pengajar
- APS373/PHY183109 Kosmologi, Pengajar
- APS371 Tata Surya, Pengajar
- APS341 Pengantar Fisika Nuklir, Pengajar
- PHY182023 Listrik Magnet, Pengajar
- APS225 Laboratorium Fisika, Pengajar.
- APS216 Fisika Statistik, Pengajar
- APS208 Fisika Matematika 4, Pengajar
- APS207 Fisika Matematika 3, Pengajar
- PHY181024 Fisika Komputasi, Pengajar
- APS105/PHY181012 Fisika Dasar 1, Pengajar
- APS192 Fisika Dasar 2, Pengajar
- APS191 Fisika Dasar 1, Pengajar
- APS106 Fisika Dasar 2, Pengajar
- APS105 Laboratorium Fisika Dasar, Pengajar.
- APH177 Fisika Dasar, Pengajar

The College of William and Mary

- PHYS 117 Astronomy Laboratory, Asisten Laboratorium.
- PHYS 110 Experimental Practical Physics, Asisten Laboratorium.
- PHYS 108 Physics for Life-Sciences Laboratory Section,Asisten

Laboratorium.

Institut Teknologi Bandung

- FI-2202 Laboratorium Fisika Lanjut I, Asisten Laboratorium.
- FI-1102 Laboratorium Fisika Dasar IIB, Asisten Laboratorium.
- FI-1101 Laboratorium Fisika Dasar IA, Asisten Laboratorium.

Presentasi Konferensi dan Seminar

- “Constraining DM-Neutrino Interactions,” Academia Sinica Theory Seminar, Taipei, Taiwan, 23 Maret 2018.
- “Constraining DM-Neutrino Interactions,” National Center for Theoretical Sciences Seminar, Hsinchu, Taiwan, 20 Maret 2018.
- “Constraining DM-Neutrino Interactions,” National Taiwan University Theory Seminar, Taipei, Taiwan, 19 Maret 2018.
- “The Status and Prospect of New Physics at the LHC Run 2,” The Conference on Theoretical Physics and Non-Linear Phenomena 2017, Bandung, Indonesia, 1 Agustus 2017.
- “Constraints on the Two Higgs Doublet Model Type III with Lepton Flavor Violation Decays,” The Conference on Theoretical Physics and Non-Linear Phenomena 2016, Tangerang, Indonesia, 4 Oktober 2016
- “Light from Dark Sector at the LHC,” The 6th Asian Physics Symposium, Bandung, Indonesia, 19 Agustus 2015.
- “A New Probe of Dark Sector Dynamics at the LHC,” The 2014 Phenomenology Symposium, Pittsburgh, PA, USA, 6 Mei 2014.
- “Measuring CP Violation in $h \rightarrow \tau^+\tau^-$ at Colliders,” Frontiers in Particle Physics: From Dark Matter to the LHC and Beyond, Aspen, CO, USA, 20 Januari 2014.
- “Measuring CP Violation in $h \rightarrow \tau^+\tau^-$ at Colliders,” DESY Theory Seminar, Hamburg, Germany, 10 September 2013.
- “Measuring CP Violation in $h \rightarrow \tau^+\tau^-$ at Colliders,” The 21st International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Trieste, Italy, August 26, 2013.
- “From Gamma Ray Line Signals of Dark Matter to the LHC,” The 2013 Phenomenology Symposium, Pittsburgh, PA, USA, 7 Mei 2013.
- “Taking a Razor to Dark Matter Parameter Space,” Maryland University Particle Theory Seminar, College Park, MD, USA, 28 Januari 2013.
- “Electroweak Multiplets for 130 GeV Gamma-Ray Line,” John Hopkins University Particle Theory Seminar, Baltimore, MD, USA, 4 September 2012.

- “Electroweak Multiplets for Dark Matter and the Higgs,” Fermilab Theory Seminar, Batavia, IL, USA, 30 Agustus 2012.
- “Taking a Razor to Dark Matter Parameter Space at the LHC,” Santa Fe 2012 Summer Workshop, Santa Fe, NM, USA, 9 Juli 2012.
- “New Physics Models of Direct CP Violation in Charm Decays,” The 2012 Phenomenology Symposium, Pittsburgh, PA, USA, 7 Mei 2012.
- “Decaying Dark Matter from Dark Instantons,” The 19th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Batavia, IL, USA, 30 Agustus 2011.

Aktifitas Profesional

- Sekretaris, Physical Society of Indonesia, 2016–Sekarang.
- Anggota, Physical Society of Indonesia, 2015–Sekarang.
- Reviewer untuk Journal of High Energy Physics dan Physics Letter B.

Honors, Awards & Fellowships

- Junior Associate of The International Center of Theoretical Physics, 2018-sekarang.
- Fermilab Fellowship in Theoretical Physics, 2011–2012.
- The IIEF - GE Foundation Scholarship, 2003–2006.