

# Umur Alam Semesta (*The Age of the Universe*)

Prof. P. Silaban, Ph.D.

*Theoretical Physics Laboratory  
Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10 Bandung 40132.*

## ***Iktisar***

Eksposisi ini menggunakan bahasa non-teknis untuk menjelaskan secara singkat landasan pemikiran yang mengawali pengembangan teori kuantum, teori relativitas khusus dan teori relativitas umum yang pada akhirnya dikaitkan kepada penentuan umur alam semesta.

Teori kuantum yang dikembangkan oleh Erwin Schrödinger dan Werner Heisenberg, dan teori relativitas khusus yang dibangun oleh Albert Einstein pada permulaan abad keduapuluh dapat dipandang sebagai dua teori fisika yang sangat revolusioner karena telah memperkenalkan perubahan yang sangat drastis kedalam konsepsi kita mengenai alam semesta beserta semua fenomena atau peristiwa yang terjadi di dalamnya. Pemakaian ke dua teori ini telah terbukti sangat ampuh untuk menjelaskan berbagai masalah fisika fundamental yang belum terpecahkan sampai akhir abad kesembilanbelas.

Teori kuantum dikembangkan setelah mengamati bahwa benda mikroskopik seperti atom dan molekul, mempunyai perilaku yang sangat berbeda dari perilaku benda makroskopik yang kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Dalam kenyataannya, perilaku sebuah benda mikroskopik selalu didasarkan pada *prinsip ketakpastian (Heisenberg uncertainty principle)* dan pada *tafsiran kemungkinan (probability interpretation)* yang sama sekali tidak berlaku untuk sebuah benda makroskopik.

Teori relativitas khusus dibangun berdasarkan pemikiran bahwa ruang dan waktu memainkan peranan yang sama pentingnya untuk menjelaskan tiap-tiap peristiwa yang terjadi dalam alam semesta ini. Teori ini sangat sesuai

digunakan untuk sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan yang sangat besar.

*Teori medan kuantum (quantum field theory)* yang merupakan gabungan dari teori kuantum dengan teori relativitas khusus telah berhasil menjelaskan banyak sekali proses yang melibatkan partikel elementer. Teori ini, yang dirumuskan sebagai sebuah *teori medan gauge (gauge field theory)* memungkinkan para ilmuwan fisika untuk memahami ke tiga interaksi fundamental yang menentukan perilaku partikel-partikel elementer yakni, *interaksi elektromagnetik (electromagnetic interaction)*, *interaksi lemah (weak interaction)* dan *interaksi kuat (strong interaction)*.

Hasil-hasil yang sangat mengagumkan yang dicapai oleh teori medan gauge ini adalah sebagai berikut :

1. Penemuan *arus netral lemah (weak neutral current)*
2. Penjelasan mengenai terbentuknya massa partikel elementer melalui pengrusakan simetri secara spontan (*spontaneously broken symmetry*).
3. Pembangunan sebuah model unifikasi dari interaksi elektromagnetik dengan interaksi lemah oleh Glashow, Weinberg dan Salam (GWS mode). Model unifikasi ini dikenal sebagai *model electroweak (electroweak model)*.
4. Pembangunan berbagai *model teori unifikasi agung (GUT – grand unified theory)* yang menggabungkan ke tiga interaksi fundamental tersebut.
5. Membuka kemungkinan untuk membangun sebuah teori medan kuantum yang menggabungkan fermion dan boson yang dikenal sebagai *teori supersimetri*.
6. Pembangunan model supersimetri unifikasi agung sebagai sebuah teori medan gauge lokal yang memasukkan gravitasi. Model ini dikenal sebagai *model supergravitasi*.

Dalam teori medan kuantum, semua partikel elementer diperlakukan sebagai sebuah benda titik. Benda titik ini menghasilkan divergensi yang sepenuhnya tidak dapat dlenyapkan. Untuk menghindari divergensi ini maka teori ini dikembangkan kedalam sebuah teori di mana partikel elementer itu dipandang bukan sebagai sebuah benda titik, tetapi sebagai sebuah dawai yang panjangnya  $10^{-33}$  cm. Teori ini dinamakan *teori superdawai (super string theory)*. Ternyata teori superdawai ini memungkinkan penggabungan medan gravitasi dengan interaksi elektromagnetik, interaksi lemah dan interaksi kuat. Karena itu, teori ini sering juga dinamakan sebagai *teori dari segala sesuatu (theory of everything)*. Namun demikian, sampai sekarang ini belum ada satupun teori yang betul-betul dapat diandalkan untuk menggabungkan ke empat jenis interaksi itu yakni, belum ada satu teori yang secara menyakinkan mampu menjelaskan adanya *gravitasi kuantum (quantum gravity)*.

Teori kuantum dan teori relativitas khusus tersebut tidak memperhitungkan pengaruh medan gravitasi dalam semua proses fisika. Untuk menjelaskan pengaruh medan gravitasi itu maka pada tahun 1911, Einstein membangun sebuah teori gravitasi baru yang dinamakan *teori relativitas umum* (*general theory of relativity*).

Dalam teori relativitas khusus dan dalam teori relativitas umum, arti dari jarak di antara dua benda dalam sebuah ruang berdimensi tiga seperti yang biasanya kita pahami harus digeneralisir kedalam sebuah interval dalam sebuah ruang-waktu berdimensi empat. Interval ini dinamakan juga metrik dari ruang-waktu itu karena bentuk dari interval ini ditentukan oleh komponen-komponen dari sebuah tensor metrik yang nilainya bergantung pada materi yang terdapat dalam ruang-waktu tersebut.

Dalam teori relativitas khusus, interval ruang-waktu inilah yang digunakan untuk menjelaskan mengapa sebuah jam yang bergerak akan menunjukkan waktu yang lebih lambat dibandingkan kepada waktu yang ditunjukkan oleh jam yang diam, dan mengapa sebuah tongkat yang bergerak mempunyai panjang yang lebih pendek dibandingkan kepada panjang dari tongkat itu sewaktu diam.

Dalam teori relativitas umum, interval ruang-waktu itu adalah sebuah pemecahan dari persamaan medan gravitasi Einstein di luar sebuah distribusi materi. Interval dari sebuah ruang-waktu dalam teori relativitas umum selalu mempunyai sebuah *singularitas*. Singularitas ini mengindikasikan keberadaan sebuah benda yang sangat masif yang dinamakan *lubang hitam* (*black hole*). Benda yang berperilaku menyerupai sebuah lubang hitam tetapi dengan arah waktu yang dibalikkan (*time reversed black hole*) dinamakan sebuah *lubang putih* (*white hole*). Persamaan medan gravitasi Einstein mengandung sebuah konstanta kosmologi yang sampai sekarang masih menimbulkan berbagai macam kontroversi. Teori relativitas umum inilah yang mendasari semua model kosmologi relativistik yang menjelaskan struktur dari sebuah alam semesta berskala besar.

Berdasarkan sejumlah besar hasil observasi yang didapatkan sampai sekarang maka disimpulkan bahwa alam semesta ini bersifat homogen dan isotropik. Walaupun banyak sekali model kosmologi relativistik yang telah dikembangkan para ilmuwan fisika sampai sekarang, namun menurut catatan sejarah perkembangannya semua model tersebut diilhami oleh model-model kosmologi homogen yang mula-mula dibangun oleh Einstein, de Sitter dan Friedmann.

Model Kosmologi Einstein yang dikembangkan pada tahun 1916 adalah sebuah model kosmologi untuk sebuah struktur ruang waktu yang statis dan yang mempunyai kelengkungan positif yang konstan. Model ini kemudian dimodifikasi

setelah Hubble menemukan bahwa alam semesta ini bukan statis tetapi terus mengembang.

Model kosmologi de Sitter yang dikembangkan pada tahun 1917 adalah sebuah model kosmologi untuk sebuah struktur ruang-waktu tanpa materi dan mempunyai kelengkungan negatif yang konstan. Perlu dicatat bahwa de Sitter adalah ilmuwan pertama yang membuktikan bahwa materi tidak diperlukan untuk menghasilkan kelengkungan dari ruang-waktu.

Model kosmologi Friedmann yang dibangun pada tahun 1922 dapat dipandang sebagai sebuah model yang berada di antara model kosmologi Einstein dan model kosmologi de Sitter.

Alam semesta yang bersifat homogen dan isotropik yang paling sering dianalisis mempunyai struktur geometri yang dinyatakan oleh metrik Robertson-Walker. Metrik ini adalah sebuah pemecahan dari persamaan medan Einstein vakum dengan memilih konstanta kosmologi yang besarnya sama dengan nol. Kelahiran alam semesta seperti ini selalu diawali oleh sebuah *dentuman besar (big-bang)* yang terjadi pada waktu Planck,  $t = 10^{-43}$  detik. Metrik ini mengandung sebuah faktor skala yang dapat digunakan untuk menghitung kecepatan ekspansi dari alam semesta yang biasanya dikenal sebagai *konstanta Hubble*. Metrik ini juga mengandung sebuah indeks kelengkungan yang akan menentukan apakah alam semesta itu merupakan sebuah alam semesta terbuka, alam semesta datar, atau alam semesta tertutup. Hasil-hasil perhitungan menunjukkan bahwa masing-masing alam semesta ini mempunyai umur yang ordenya 10 milyar tahun. Einstein sendiri yakin bahwa alam semesta ini adalah sebuah alam semesta yang tertutup.

GUT adalah satu-satunya teori yang memungkinkan kita untuk menelusuri kembali sejarah alam semesta semenjak kelahirannya pada waktu Planck.

Pada waktu kelahiran alam semesta, besarnya temperatur adalah  $10^{32}$  derajat kelvin dan segala sesuatu terdapat dalam bentuk radiasi. Pada waktu-waktu yang selanjutnya, terjadi pengrusakan simetri yang menghasilkan massa. Tabel berikut ini memperlihatkan kronologi dari peristiwa-peristiwa yang terjadi sejak kelahiran alam semesta, dan juga menunjukkan energi, temperatur dan besarnya ukuran dari alam semesta pada waktu-waktu yang bersangkutan. Hasil-hasil dalam tabel ini dihasilkan dari model kosmologi yang digabungkan dengan *teori unifikasi agung (GUT = Grand Unified theory)*.

**Tabel**

Waktu (s)	Energi $E = kT$ (GeV)	Temperatur T(K)	Diameter dari alam semesta (cm)	Apa yang terjadi	
Dominasi radiasi	$10^{-43}$	$10^{19}$	$10^{32}$	$10^{-3}$	Kekacauan kuantum ( <i>quantum chaos</i> )
	$10^{-36}$	$10^{15}$	$10^{28}$	10	Pengrusakan $SU(5)$ GUT
	$10^{-10}$	$10^2$	$10^{15}$	$10^{14}$	Pengrusakan $SU(2)_L \otimes U(1)$
	$2 \times 10^{-6}$	1	$10^{13}$	$10^{16}$	Anihilasi nukleon
	$2 \times 10^{-4}$	$10^{-1}$	$10^{12}$	$10^{17}$	Anihilasi muon
	2	$10^{-3}$	$10^{10}$	$10^{19}$	Anihilasi pasangan elektron positron
200	$10^{-4}$	$10^9$	$10^{20}$	Sintesis nukleon helium	
Dominasi materi	$10^{14}$	$10^{-10}$	$10^3$	$10^{26}$	Atom hidrogen terbentuk
	$10^{18}$	$10^{-12}$	3	$10^{28}$	Sekarang

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Dr. Kusmayanto Kadiman, Rektor Institut Teknologi Bandung, yang telah menyarankan pelaksanaan ceramah populer mengenai teori relativitas ini. Beliau telah memberi bantuan moril dan material yang sangat banyak semenjak perencanaan sampai pada pelaksanaan ceramah ini.

Penulis sangat berterima kasih kepada Pepen Arifin, Ph.D., Ketua Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung atas perhatian dan komitmen beliau selama perencanaan dan pelaksanaan ceramah ini. Tanpa bantuan beliau yang begitu besar, ceramah ini tidak mungkin terlaksana.

Penulis menyampaikan juga ucapan terima kasih kepada Freddy Permana Zen, DSc., Ketua Kelompok Bidang Keahlian Fisika Teoretik, Departemen Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung, atas segala dukungan oleh beliau beserta seluruh stafnya, khususnya Dr. Bobby Eka Gunara dan Dr. Hans J. Wospakrik sehingga ceramah ini dapat berlangsung seperti yang direncanakan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua mahasiswa S1, S2 dan S3 fisika teoretik, Dede Enan, Antot M. Suparman, S.Sos., MPd., Neni Nurkumala dan Sri Rahmawati yang secara suka rela dan dengan penuh dedikasi telah sangat membantu pelaksanaan ceramah ini.

Akhirnya sebagai seorang alumni dari School of Relativity, Department of Physics, Syracuse University, New York (USA), penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tulus kepada para fisikawan terkemuka di Syracuse University, yang telah memperkenalkan keindahan teori relativitas dan teori medan kuantum kepada penulis sewaktu penulis mengikuti program Ph.D. di Syracuse University dari tahun 1966 s/d 1971. Mereka adalah :

Prof. Peter G. Bergmann  
Prof. J.N. Goldberg  
Prof. A. Trautmann  
Prof. F. Röhrlich  
Prof. E.C.G. Sudarshan  
Prof. O' Raifeartaigh

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

Penulis lahir tanggal 11 Nopember 1937 di Sidikalang, Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Setelah mendapat gelar sarjana fisika teoretik (Drs) dari Jurusan Fisika, FMIPA, ITB, pada tanggal 4 April 1964 penulis diangkat menjadi staf pengajar Jurusan Fisika sejak tanggal 1 Mei 1964, dan kemudian pada bulan Desember 1966 bertolak ke Amerika Serikat dengan beasiswa United States Agency For International Developments (USAID) untuk melanjutkan pendidikan di Graduate School, Syracuse University, New York. Penulis mendapat gelar Doctor of Philosophy (Ph.D.) dalam Teori Relativitas Umum dari School of Relativity, Department of Physics, Syracuse University, New York (USA), pada tanggal 12 Juni 1971.

Setelah kembali ke Jurusan Fisika, FMIPA ITB, penulis kemudian ditugaskan sebagai dosen di Universitas Kebangsaan Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, dari tahun 1974 s/d 1976.

Sebagai guru besar fisika teoretik dalam bidang teori medan, sejak awal tahun 1995 penulis dipercayakan untuk mengetuai Kelompok Bidang Keahlian Fisika Teoretik, Jurusan Fisika, FMIPA, ITB sampai dengan tahun 2002. Penulis melakukan penelitian fundamental sekarang ini dalam bidang teori medan gauge supersimetri.

Penulis adalah anggota dari :

- Himpunan Fisikawan Indonesia
- South East Asian Theoretical Physics Association (Singapore)
- Gravity Research Foundation (USA)
- American Physical Society (USA)

Penulis menikah tanggal 14 Juli 1964 dengan Rugun Lumbantoruan alumni Fakultas Hukum, Universitas Sumatra Utara, Medan dan dianugerahi *empat orang puteri*. Tiga dari ke empat puterinya telah berkeluarga, dan susunan keluarga selengkapnya adalah sebagai berikut:

1. Dra. Anna Christin Silaban, Ak. (anak pertama)  
Lahir : 30 April 1965  
Pendidikan : Sarjana Ekonomi, Universitas Pajajaran (1987)  
Suami : Ir. Jaya Bala  
Anak : Joshua J. Bala
2. Dr. Ruth Silaban, SpS. (anak kedua)  
Lahir : 24 Januari 1967  
Pendidikan : 1. Dokter Umum, Fakultas Kedokteran

- Universitas Pajajaran (1992).  
2. Spesialis Saraf, Fakultas Kedokteran,  
Universitas Pajajaran (2000).
- Suami : Drs. Albert S. Gultom  
Anak : (1) Jeremy Binsar Gultom  
(2) Joseph Gultom
3. Ir. Sarah Silaban, MSc. (anak ketiga)  
Lahir : 10 Juni 1972  
Pendidikan : 1. Sarjana Teknik Sipil,  
Institut Teknologi Bandung (1998)  
2. MSc., Chalmers University of Technology,  
Gothenborg, Swedia (2000)
- Suami : Ir. Hugo Sager, MBA.
4. Ir. Mary Regina Silaban (anak keempat)  
Lahir : 17 September 1975  
Pendidikan : 1. Sarjana Teknik Geologi,  
Institut Teknologi Bandung (2000)