

## Teori fisika Menguji Teori Gravitasi Einstein (2)

Berita IPTEK  
Selasa, 26 Oktober 2004, 17:58:13 Wib

**Oleh: Agung Waluyo**

*"Meskipun terlihat sangat indah, kemungkinan besar teori relativitas umum Einstein akan mengalami amandemen" (C.N. Yang, Pemenang hadiah nobel fisika)*

Sebagaimana telah dibahas di dalam tulisan sebelumnya, pada tahun 1916 Einstein dengan cemerlang menyusun teori relativitas umum sebagai usaha untuk menjelaskan fenomena gravitasi di alam semesta. Teori ini disebut sebagai ciptaan paling brilian yang pernah dihasilkan dari pikiran manusia. Premis dasarnya adalah ruang angkasa yang terlihat kosong sebenarnya terbuat dari anyaman medan ruang dan waktu. Teori ini bukan saja menggabungkan konsep ruang, waktu dan gravitasi tetapi juga sanggup memprediksi fenomena-fenomena alam semesta lain yang sulit masuk di akal seperti *black hole* atau lubang hitam.

Lebih lanjut keberadaan benda astronomi seperti planet dan bintang memberikan pengaruh terhadap strukture anyaman ruang-waktu tadi. Sebuah planet, misalkan, akan melekkukan anyaman itu, efek lekukan ini disebut sebagai *warped space time* atau lekukan ruang waktu. Karena benda seperti planet dan bintang berputar pada porosnya, putaran ini diperhitungkan menyeret anyaman tadi. Efek seretan ini disebut sebagai efek *frame dragging* atau seretan kerangka.

Akibat lekukan anyaman ruang-waktu yang diakibatkan oleh matahari yang bermassa jauh lebih besar dari massa planet dan benda-benda lain dalam tata surya, benda-benda yang bermassa lebih kecil tadi akan bergerak mengikuti bentuk lekukan anyaman di sekitar matahari. Efek ini juga dikenal sebagai efek geodetic. Akibat massa matahari yang sangat besar, efek geodetiknya menjangkau bahkan sampai planet Pluto atau Ceres (kandidat planet yang baru saja ditemukan sebagai benda angkasa yang terjauh dari matahari).

Meskipun prediksi teori relativitas umum dalam pembelokan lintasan cahaya, presisi perihelion planet Merkuri, pergeseran warna merah dan melambatnya kecepatan cahaya akibat gravitasi telah dikukuhkan keberadaannya melalui eksperimen, dua efek utama dari teori ini, efek geodetik dan seretan kerangka, belum terbukti secara langsung melalui eksperimen. Sehingga boleh dikatakan bahwa teori relativitas umum adalah teori yang paling sedikit mendapat perhatian oleh para eksperimentalis.

Lebih lanjut Einstein sendiri mengakui bahwa persamaan relativitas umumnya memiliki kelemahan. Suku di sisi kiri persamaannya, yang menggambarkan geometri ruang-waktu, merupakan suku yang kokoh seperti batu granit sementara suku di sisi kanan persamaannya, yang menghubungkan geometri ruang-waktu dengan massa dan energi, adalah suku yang lemah seperti pasir dipantai.

Bukan hanya itu, para ilmuwan melihat teori relativitas umum memiliki masalah dalam teori itu sendiri yang lebih serius. Kenyataan bahwa dari keempat gaya dalam alam semesta ini, gaya inti kuat, inti lemah, elektromagnetik dan gravitasi, gravitasi adalah satu-satunya gaya yang sulit untuk digabungkan dengan ketiga gaya yang lain dalam teori penggabungan agung (GUT). Lebih lanjut, teori gravitasi ini tidak bersesuaian dengan teori mekanika kuantum yang merupakan teori terbesar yang pernah ditemukan di awal abad 20. Para fisikawan banyak berspekulasi tentang skenario teori gravitasi kuantum, tetapi akhirnya spekulasi ini hanya berakhir pada sebatas

sebagai spekulasi saja.

Kesulitan-kesulitan yang ditemukan dalam teori gravitasi Einstein ini menguatkan kecurigaan para fisikawan bahwa teori ini sepertinya perlu diamandemen. Untuk menemukan bukti kuat yang dapat mendukung amandemen teori gravitasi Einstein ini dibuatlah eksperimen GP B yang khusus akan menguji premis utama teori ini dalam efek geodetik dan seretan kerangka.

### **Prinsip sederhana eksperimen *Gravitasi Probe* (GP) B**

Setiap eksperimen memerlukan sesuatu yang bisa diamati dan alat pengukurnya. Karena tujuan utama eksperimen GP B adalah mencari bukti adanya medan ruang-waktu, maka pertanyaannya adalah apakah anyaman medan ruang-waktu ini bisa dilihat atau dideteksi. Kalau bisa adakah alat untuk mendeteksinya? Untuk menjawab pertanyaan ini, pada tahun 1960 Leonard Schiff, fisikawan dari universitas Stanford dan George Pugh fisikawan dari Departemen Pertahanan AS, secara terpisah mengusulkan bahwa alat yang bisa melihat efek geodetik dan seretan kerangka ini adalah giroskop.

Giroskop adalah alat yang memiliki prinsip kerja yang sama dengan prinsip kerja sebuah gasingan, mainan anak-anak yang dijual dipasar tradisional. Sebuah gasingan yang berputar pada porosnya memiliki besaran fisis yang membuatnya tetap berdiri ketika berputar yang disebut momentum angular. Berat gasingan mengakibatkan poros gasingan tidak berdiri tegak lurus melainkan sedikit miring. Momentum angular ditambah dengan berat gasingan tadi mengakibatkan gasingan melakukan dua gerakan berputar: putaran terhadap porosnya sendiri dan putaran terhadap poros vertikal permukaan dimana sebuah gasingan berputar. Gerak berputar yang kedua ini disebut gerak presisi.

Misalkan sebuah gasingan berputar di atas tanah. Jika berat gasingan diabaikan, maka putaran yang tinggal hanyalah putaran gasingan pada porosnya. Lebih lanjut jika tanpa gangguan gaya lain maka gasingan tadi akan terus berputar dengan arah poros yang tetap. Dengan asumsi ini, ketika gasingan tadi bergeser dari tempat semula pada permukaan yang tidak rata, poros putaran gasingan ini akan berubah arah dan perubahan ini akan bersesuaian dengan bentuk atau kontur permukaan tanah. Sehingga perubahan arah poros gasingan ini dapat dipakai sebagai informasi mengenai bentuk permukaan tanah.

Prinsip kerja yang sama juga digunakan oleh giroskop pada GP B untuk mendeteksi adanya lekukan medan ruang-waktu di sekitar bumi. Untuk bisa mengisolasi giroskop dari efek yang lain selain efek geodetik dan seretan kerangka, giroskop pada satelit GP B harus dikemas sedemikian rupa sehingga pengaruh-pengaruh seperti cacat fisik giroskop dan medan magnet bumi bisa dihindari.

### **Giroskop dan teleskop pada satelit GP B**

Tantangan eksperimen ini selanjutnya adalah kecilnya pengaruh kedua efek tadi pada perubahan arah poros giroskop. Sesuai dengan perkiraan perhitungan dengan teori gravitasi Einstein, sebuah giroskop akan mengalami perubahan sejauh 6,614 mili-arc-detik atau sekitar 0,00183 derajat per tahun ke arah utara bumi akibat efek geodetik. Sementara itu, efek seretan kerangka hanya akan memberikan perubahan sejauh 40,9 mili-arc-detik per tahun pada arah horizontal ke arah timur, perubahan yang sangat sulit terdeteksi oleh alat pengukur sudut konvensional manapun.

Untuk keperluan pengukuran kuantitas yang sangat kecil ini, para ilmuwan pada proyek ini harus membuat giroskop atau rotor berbentuk bola yang kebulatannya mendekati sempurna. Rotor

yang berjumlah 4 buah ini masing-masing berukuran sama seperti bola ping-pong yang berdiameter sekitar 1,5 inci.

Dengan teknologi fabrikasi yang baru para ilmuwan di universitas Stanford dan Nasa berhasil membuat rotor yang homogen. Kebulatannya yang sempurna mencapai ketelitian 40 kali ukuran atom. Artinya setiap titik pada permukaan bola rotor itu memiliki jarak sama dari pusat bola. Walaupun terdapat perbedaan maka perbedaannya hanya berkisar 0,0000003 inci. Homogenitas dan kebulatan yang sempurna ini akan menghindari ketidakseimbangan rotor dan gesekan dengan udara pada saat berputar.

Bagian dalam rotor terbuat dari Quartz padat. Quartz adalah material yang biasanya digunakan untuk perhiasan. Dipahat dari batangan quartz murni yang matang dari Brazil dan kemudian dipanggang dan dimurnikan di laboratorium di Jerman. Masing-masing rotor ini ditempatkan dalam sebuah kotak rumah yang memiliki 6 elektroda yang nantinya dipakai untuk mengangkat setiap rotor dengan medan listrik. Untuk memutar rotor-rotor tadi dalam ruang hampa, semburan gas helium digunakan sampai masing-masing rotor mencapai kecepatan putaran 10.000 rpm. Setelah itu setiap rotor akan berputar dalam ruang hampa di dalam kotaknya tanpa topangan sedikitpun.

Apapun cara pengukuran yang dilakukan dalam eksperimen ini, mekanisme yang dipakai tidak boleh mengganggu putaran mekanik rotor. Oleh sebab itu, pengukuran perubahan sudut yang sangat kecil ini harus dilakukan dengan metode yang tidak memberikan gangguan mekanik terhadap masing-masing rotor. Untuk itu para ilmuwan menggunakan alat ukur dengan teknologi baru yang dikenal dengan SQUID (*Superconductor Quantum Interference Device*). SQUID juga disebut magnetometer karena alat ini digunakan untuk mengukur medan magnet. Magnetometer ini sangat bergantung pada fenomena fisika yang dikenal sebagai superkonduktor.

Superkonduktor adalah sebuah fenomena fisika yang ditemukan oleh fisikawan Belanda H. Kammerlingh Onnes di tahun 1911. Pada suhu yang sangat rendah, yaitu pada suhu beberapa derajat di atas suhu nol absolut, bahan-bahan material tertentu akan kehilangan sifat hambatan listriknya. Sehingga jika sebuah arus listrik yang mengalir pada sebuah cincin superkonduktor maka arus tadi akan berputar pada cincin itu selamanya, asal saja cincin itu dipertahankan dalam suhu yang sangat rendah tadi.

Selain hambatan listrik yang praktis nol, bahan superkonduktor juga memiliki satu properti yang unik. Pada tahun 1948, seorang fisikawan teori yang bernama Fritz London memprediksikan bahwa superkonduktor yang berputar akan menciptakan momen magnet kecil. Keuntungannya adalah momen magnet ini berada persis bertindihan dengan sumbu putarannya. Itulah sebabnya setiap rotor dalam eksperimen ini dilapisi dengan Niobium, bahan yang memiliki sifat superkonduktor pada suhu yang sangat rendah, dengan ketebalan lapisan 0,001270 milimeter. Ketika rotor berputar, lapisan tipis Niobium ini menghasilkan momen magnet seperti dalam efek London tadi. Ketika arah poros rotor berubah, momen magnet London tadi ikut berubah sesuai dengan arah poros rotor. Sehingga dengan mengamati perubahan momen magnet dengan peralatan SQUID sama saja dengan mengamati perubahan sudut rotor. Peralatan SQUID yang sangat sensitif ini sanggup mendeteksi perubahan momen magnet sekecil sepersepuluh ribu triliun medan magnet bumi.

Untuk mempertahankan keadaan superkonduktor pada suhu  $-273,15$  Celcius, semua peralatan ditempatkan dalam sebuah termos logam yang berukuran 2,441 liter dan diisi dengan helium cair dalam keadaan superfluid. Dinding yang berlapis-lapis melindungi peralatan dari radiasi langsung di angkasa luar. Sehingga praktis tidak ada panas yang masuk ke dalam termos melalui radiasi tersebut. Peralatan pengontrol suhu mengatur kemungkinan masuknya panas yang terjadi akibat konduksi panas dari bagian atas termos dan radiasi sinar yang masuk ke dalam teleskop yang ditempelkan pada bagian atas rumah rotor. Dinding ini juga melindungi sistem rotor ini dari medan magnet bumi.

Peralatan penting kedua yang disertakan dalam rangkaian peralatan ini adalah teleskop yang berukuran sepanjang 36 centimeter yang tersusun dari cermin yang berdiameter 14,2 centimeter. Teleskop ini dipasang diatas kotak rumah rotor, sehingga poros rotor dan teleskop ini bisa dikatakan berada pada posisi arah yang sama pada mulanya. Teleskop ini berfungsi sebagai arah acuan yang dipakai untuk mengukur perubahan sudut pada rotor.

Idealnya, teleskop ini dibuat tetap mengarah kepada benda masif yang jauh di angkasa seperti kuasar, karena posisi benda ini akan terlihat tidak berubah relatif terhadap satelit GP B. Meskipun demikian, benda seperti ini terlihat redup oleh teleskop. Karena itu pilihan acuan jatuh kepada bintang binary (kembar) yang bernama IM Pegasi yang berjarak berkisar 300 tahun cahaya dari bumi.

Dari sekitar 1.400 bintang yang diseleksi, IM Pegasi memenuhi empat syarat sebagai bintang acuan. Bintang ini memiliki posisi yang menguntungkan seperti tidak ada benda lain yang akan berada diantara bintang ini dan satelit GP B. Kedua, bintang ini cukup bersinar terang buat teleskop pada satelit GP B untuk diamati. Ketiga, bintang ini cukup menghasilkan gelombang radio yang bisa ditangkap oleh teleskop gelombang radio di bumi. Terakhir, IM Pegasi berada bersebelahan dengan sebuah kuasar, sehingga sangat mudah diamati.

### **Gagasan yang membuka alam semesta baru**

Melihat panjangnya perjalanan proyek ini, maka setiap orang yang terlibat didalamnya patut berbangga. Diawali dengan hanya sebuah gagasan sederhana pengukuran medan ruang-waktu dengan giroskop pada tahun 1960. Empat tahun kemudian NASA setuju untuk membiayai proyek ini. Dengan banyaknya teknologi baru yang diperlukan tidak sedikit keraguan muncul mengenai proyek GP B ini. Pada tahun 1973, NASA kembali mempertimbangkan apakah proyek ini diteruskan atau tidak. Dibutuhkan sekitar tiga puluh tahun dari gagasan ini diusulkan untuk tiba pada kesiapan teknologi pembangunan komponen satelit ini. Tahun 1990, komite Rosendhal NASA menyatakan kesiapan teknologi yang akan digunakan untuk membangun peralatan satelit GP B.

Setelah mengalami begitu banyak penundaan dikarenakan masalah pada satelit, cuaca, juga kendaraan peluncur, akhirnya satelit GP B dapat mengorbit bulan Mei 2004,. Untuk berfungsi secara penuh satelit ini masih membutuhkan waktu sekitar 44 hari dari waktu satelit ini tiba pada posisi orbit. Setelah giroskop berputar dengan kecepatan penuh, misi ini tiba pada fase sains dimana data-data akan dikumpulkan. Pada fase ini, tidak banyak perintah dari bumi yang dikirimkan ke satelit. Pengambilan data akan mengikuti pola rutin. Setelah fase sains selesai, satelit memasuki fase yang sebenarnya lebih penting yaitu fase post-sains. Pada saat ini akan lebih banyak perintah yang dikirimkan ke satelit untuk memberi error sistematis eksperimen pada data.

Apapun hasil yang dikuakkan oleh eksperimen ini akan memberikan kontribusi yang akan membuka wahana baru dan menambah kepingan misteri dari rahasia alam semesta yang sangat besar ini. Jika GP B berhasil melakukan tugasnya dengan baik, maka satelit ini telah melakukan pengukuran yang paling akurat dari efek geodetic dan seretan kerangka. Jika hasil eksperimen ini berlawanan dengan teori relativitas umum Einstein, maka para fisikawan diperhadapkan dengan tantangan untuk menyusun ulang seluruh teori alam semesta yang baru yang didukung oleh data eksperimen GP B ini.