

# Lubang Hitam: Sebuah Contoh Peluang Kontribusi FTIS-UNPAR Dalam Sains Fundamental

*Dr. Haryanto M. Siahaan*

*Jurusan Fisika*

*Fakultas Teknologi Informasi dan Sains*

*Universitas Katolik Parahyangan*

*"God does not play dice."* Albert Einstein

*"Einstein, stop telling God what to do."* Niels Bohr

*"Not only does God definitely play dice, but He sometimes confuses us by throwing them where they can't be seen."* Stephen Hawking

## 1. Pendahuluan

Tiga kutipan di atas merupakan pernyataan dari tiga ilmuwan besar di abad dua puluh, Einstein, Bohr, dan Hawking [1,2]. Dua kutipan pertama mewakili diskusi hangat antara Einstein dan Bohr terkait prinsip deterministik dan probabilistik alam semesta, dan kutipan terakhir terkait sebuah paradoks yang dilontarkan Hawking mengenai lubang hitam yang akan saya bahas dalam orasi ini.

Objek yang akan saya bahas dalam orasi ini, yakni lubang hitam, terinspirasi dari penayangan dua buah film layar lebar produksi Hollywood tahun lalu, yakni *Interstellar* dan *The Theory of Everything*, yang ternyata mendapat tanggapan cukup baik dari masyarakat. Film pertama menceritakan misi perjalanan sekelompok manusia ke sebuah tempat yang sangat jauh, yang mana dalam perjalanan tersebut mereka menjumpai lubang hitam dan harus mempelajari beberapa aspek fisis dari lubang hitam tersebut. Sementara film yang kedua menceritakan tentang seorang ilmuwan cemerlang penderita Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS), bernama Stephen Hawking, yang bertanggung jawab terhadap beberapa pemahaman penting tentang lubang hitam.

Saya cukup yakin, bahwa tidak sedikit hadirin di ruangan ini yang penasaran dengan objek yang dinamakan lubang hitam ini. Oleh karena itu, sebelum menyampaikan beberapa hal yang mungkin dapat menjadi peluang kontribusi FTIS-UNPAR untuk sains fundamental terkait lubang hitam, izinkan saya untuk memaparkan secara sederhana apa itu lubang hitam, dan dari sudut pandang apa dalam fisika kita bisa memahaminya. Sederhana dalam arti saya berusaha tidak menggunakan persamaan dalam eksposisi yang akan saya berikan.

## **2. Gravitasi**

Dalam kehidupan sehari-hari, kita merasakan gravitasi bekerja dalam banyak fenomena yang kita alami. Gravitasi menjelaskan kenapa kita sekarang bisa duduk tenang, bukannya melayang, atau kenapa air hujan jatuh ke permukaan bumi, bukannya mengapung di udara. Gravitasi jugalah yang bertanggung jawab untuk terbitnya matahari di pagi hari dan tenggelam kala senja tiba. Pada dasarnya tiap benda yang bermassa akan saling tarik menarik, dan menurut Newton itu dikarenakan tiap benda ber massa mengalami gaya gravitasi. Semakin dekat jarak antar benda, atau semakin besar massa benda, maka semakin besar juga gaya tarikan gravitasinya. Misalnya ini dapat menjelaskan mengapa bulan selalu mengitari bumi, bukannya justru jatuh di permukaan matahari, meskipun massa matahari jauh lebih besar dibandingkan dengan massa bumi. Bukan hanya dapat menjelaskan fenomena gravitasi yang biasa kita alami sehari-hari, salah satu kesuksesan dramatis teori gravitasi Newton adalah prediksi keberadaan Neptunus sebagai planet kedelapan terjauh dari matahari oleh matematikawan Prancis, Le Verrier [3]. Berdasarkan teori gravitasi Newton, posisi pasti Neptunus bisa dihitung berdasarkan anomali data lintasan planet Uranus.

Namun demikian, keberhasilan teori gravitasi Newton dalam menjelaskan gerakan benda langit sedikit terusik, dengan ditemukannya anomali pada penelitian presisi lintasan planet Merkurius [3]. Ditemukan bahwa gerakan planet Merkurius tidak taat terhadap teori Newton, yakni adanya perbedaan lintasan berdasarkan prediksi teori Newton dan data pengamatan. Dalam selang beberapa dekade hal ini dianggap sebagai kesalahan pengukuran. Hingga akhirnya Einstein memperkenalkan teori relativitas umumnya. Dalam teori Einstein, gravitasi dipandang sebagai konsekuensi ruang waktu yang melengkung akibat kehadiran massa dan atau energi, serta tidak ada konsep gaya sama sekali. Lintasan benda disekitar sebuah objek bermassa, apakah benda tersebut akan tertarik ke objek atau bergerak mengitarinya, bergantung kepada kelengkungan ruang disekitar objek bermassa tersebut dan kondisi awal gerakan benda. Semakin besar massa yang hadir dalam sebuah ruang, semakin besar kelengkungan yang disebabkan, dan semakin kuat tarikan massa tersebut kepada objek lain yang berada di sekitarnya. Inilah cara pandang modern tentang gravitasi yang dipakai hingga saat ini dan telah teruji oleh serangkaian uji coba eksperimen.

## **3. Mekanika kuantum**

Mekanika adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari apa yang terjadi pada benda jika padanya diberikan gaya atau mengalami perpindahan, dan juga apa dampak yang ditimbulkan oleh pergerakan benda tersebut kepada lingkungannya. Kembali lagi buah pikiran Newton yang akhirnya memberikan kita gambaran yang cukup lengkap dalam menjelaskan mekanika benda-benda kasat mata disekitar kita. Newton memperkenalkan tiga hukum mekanikanya yang termashyur, yang digunakan secara luas terutama dalam rekayasa teknik. Mulai dari pembangunan gedung, jembatan, kendaraan bermotor, mainan, hingga pesawat terbang dapat dibangun atau dirakit berdasarkan hukum gerak Newton. Namun demikian, ternyata tidak semua gerakan dapat dijelaskan dengan hukum ini.

Diawal abad ke dua puluh, Niels Bohr menjelaskan kestabilan atom Hidrogen dengan menggunakan sebuah model atom yang dibangunnya. Dalam model tersebut, ia harus memasukkan sebuah aturan dimana elektron mengitari inti atom pada orbit tertentu dan momentum sudut pada orbit ini bersifat diskrit. Bohr harus memasukkan aturan ini, dikarenakan hukum Newton gagal menjelaskan kestabilan orbit elektron dalam atom. Misalnya untuk atom Hidrogen yang hanya terdiri dari satu proton dan satu elektron yang mengelilinginya, berdasarkan hukum gerak Newton seharusnya elektron tidak dapat memiliki orbit yang stabil karena ia akan "jatuh" ke inti yaitu proton. Namun faktanya, elektron dalam atom hidrogen memiliki orbit yang stabil. Dari hal ini kita dapat melihat sebuah contoh limitasi hukum gerak Newton untuk benda-benda tak kasat mata alias berukuran sangat kecil. Dalam perkembangannya, revolusi yang dilakukan Bohr dalam menjelaskan perilaku atom merupakan bagian dari langkah awal sebuah usaha pencarian teori baru hingga lahirnya sebuah kerangka berpikir yang dapat diterima untuk menjelaskan fenomena fisis dalam skala mikroskopik yang dinamakan dengan mekanika kuantum.

Perhitungan dalam mekanika kuantum dengan menggunakan persamaan dinamika di dalamnya memberikan hasil yang bersifat probabilistik, misalnya berapa persen peluang sebuah peristiwa untuk terjadi atau berapa persen kemungkinan menemukan sebuah partikel pada posisi tertentu jika dilakukan suatu pengukuran. Hal ini sangat jauh berbeda dengan mekanika klasik berdasarkan hukum Newton yang bersifat deterministik, artinya prediksi pasti sebuah kejadian bisa didapatkan asalkan kondisi awalnya dengan lengkap dapat diketahui. Sifat probabilistik dalam mekanika kuantum inilah yang selalu mengusik Einstein hingga akhir hayatnya, karena ia percaya bahwa setiap proses di alam ini dapat dianalisis secara deterministik. Hingga saat ini, perdebatan ilmiah antara paham probabilistik dan deterministik masih terjadi, dan masing-masing pihak memiliki argumennya sendiri-sendiri. Terlepas dari perseteruan filosofis terkait dua pandangan ini, ditemukan bahwa hari ini mekanika kuantum telah membawa kita ke zaman berteknologi canggih. Komputer, LCD, dan berbagai gadget canggih yang kita miliki saat ini, semua diciptakan dengan memanfaatkan prinsip dan perhitungan dalam teori kuantum. Meskipun demikian, agak naif memang, walau telah banyak pencapaian teknologi yang menggunakan teori kuantum saat ini, saya masih merasa bahwa ungkapan seorang pemenang hadiah Nobel fisika tahun 1965 dan salah satu kontributor dalam fisika kuantum bernama Richard Feynman, "I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics", masih relevan hingga sekarang. Tentu ini juga berarti bahwa pencarian kebenaran final dalam sains fundamental belum berakhir.

#### **4. Lubang hitam**

Setelah membahas secara singkat tentang gravitasi dan teori kuantum sebelumnya, sekarang kita bisa mulai membicarakan lubang hitam. Semua kita tahu bahwa Matahari adalah bintang yang memancarkan radiasi panas dengan sumber energi nuklir di intinya. Berdasarkan ukurannya, matahari termasuk bintang yang berukuran kecil. Di luar angkasa sana, ada bintang yang massanya sampai jutaan kali massa matahari [4].

Kekekalan energi merupakan salah satu hukum yang paling mendasar dalam fisika, dan ini juga berlaku pada sebuah bintang. Bintang juga memerlukan bahan bakar untuk bisa bersinar dan melepaskan panas, dan suatu saat bahan bakarnya akan habis. Ibarat sebuah mobil yang ketika digunakan terus menerus suatu saat akan kehabisan bensin, demikian juga bintang yang terus memancarkan panasnya akan kehabisan sumber energi juga. Para ilmuwan percaya bahwa reaksi nuklir fusi (reaksi penggabungan inti atom) yang bertanggung jawab dalam mengubah energi nuklir menjadi energi panas di bintang. Ketika bintang kehabisan bahan bakarnya dan akhirnya tersisa sampah sisa reaksi nuklir, tidak serta merta ia menjadi tidak bermassa.

Secara alamiah, interaksi gravitasi selalu tarik menarik dan cenderung menuju ke pusat massa. Tarikan gravitasi yang awalnya dapat diseimbangkan oleh tekanan panas oleh karena reaksi nuklir akhirnya menjadi interaksi yang paling dominan saat reaksi fusi pada bintang telah berakhir. Berikutnya proses pengerutan bintang oleh gravitasi tidak dapat terelakkan. Lantas barangkali kita bertanya, mengapa bumi yang kita diami tidak mengerut menuju pusatnya oleh karena gravitasi. Hal ini tentu saja dikarenakan gaya gravitasi di bumi tidak cukup kuat untuk bisa mengerutkan ukuran bumi lebih kecil dibanding ukuran bumi yang kita tinggali sekarang. Situasinya akan berbeda seandainya massa bumi lebih besar, misalnya seribu atau sejuta kali dari massa yang sekarang, untuk kondisi awal ukuran yang sama seperti saat ini, maka bumi akan mengerut.

Jika memang setiap bintang di akhir hayatnya akan selalu mengerut, apakah akan selalu menuju ke satu jenis keadaan akhir secara fisis? Jawaban untuk pertanyaan ini adalah tidak. Sampai saat ini diketahui ada tiga jenis keadaan akhir untuk setiap bintang, yaitu bintang katai putih, bintang neutron, dan lubang hitam. Keadaan akhir sebuah bintang mati sangat bergantung pada massa awalnya. Untuk bintang dengan massa sama atau lebih besar dari 10 kali massa matahari, maka bintang ini akan menjadi lubang hitam setelah ia kehabisan bahan bakar. Ini berarti matahari kita bukanlah sebuah calon lubang hitam.

Secara sederhana yang terjadi pada sebuah bintang hingga ia menjadi lubang hitam adalah tarikan gravitasi yang super kuat yang menarik semua massa yang dimilikinya ke "dalam" sebuah titik hingga terciptalah sebuah singularitas. Lebih mudahnya proses ini dapat digambarkan dengan konsep massa jenis, yang didefinisikan sebagai rasio antara massa benda persatuan volum. Misalnya air memiliki massa jenis 1 kg/ltr, artinya 1 liter air memiliki massa 1 kg. Untuk kasus lubang hitam atau juga sering dinamakan bintang runtuh, kita bisa bayangkan massa bintang yang sangat besar itu, kurang lebih 10 kali massa matahari dimana massa matahari adalah sekitar 2 dikali sepuluh pangkat 30 (atau 2 juta triliun triliun) kilogram, ketika mengalami kontraksi karena gravitasi akan memiliki volume yang terus mengecil hingga akhirnya memiliki volum nol. Tidak ada yang dapat menghentikan proses ini. Keadaan dimana massa yang sangat besar itu memiliki volum (literally) nol, sehingga tercipta keadaan dengan massa jenis yang tidak berhingga, itulah yang dalam fisika kita kenal sebagai singularitas. Semua hukum fisika yang kita kenal hari ini tidak bisa dipakai atau gagal untuk menjelaskan proses yang terjadi dalam singularitas ini.

Namun demikian kita tidak perlu khawatir akan ketidakmampuan kita menjelaskan proses yang terjadi dalam singularitas ini. Dipercaya bahwa ketika lubang hitam terbentuk, ada sebuah permukaan yang menutup secara total titik singularitas ini, yang dinamakan dengan horison peristiwa. Apapun yang

terjadi di dalam horizon peristiwa ini tidak akan pernah diketahui oleh pengamat yang berada di luarnya. Hal ini dikarenakan cahaya yang merupakan "messenger" universal tidak akan pernah lepas dari horizon peristiwa sekali ia "menempel" pada permukaan ini, apalagi kalau ia sempat masuk ke dalamnya. Cahaya akan selalu berada di permukaan atau di dalam lubang hitam, tidak akan pernah sampai ke "mata" pengamat untuk memberi tahu apa yang terjadi di dalam horizon peristiwa.

Kemudian muncul pertanyaan, karena terkait dengan proses fisika yang sangat ekstrim, apakah lubang hitam ini memang ada? Keberadaan lubang hitam didukung oleh data astronomis dimana ditemukannya objek "gelap" di luar angkasa sana, namun sanggup membelokkan lintasan benda-benda langit lain yang bergerak mendekatinya [4]. Juga fenomena bintang kembar, yang mana salah satunya telah runtuh menjadi lubang hitam [4].

Dewasa ini, lubang hitam telah menjadi objek penelitian yang cukup eksotis, baik secara teoretik maupun eksperimen. Misalkan saja, dengan mengetik kata kunci "lubang hitam" pada [www.google.co.id](http://www.google.co.id), maka akan muncul lebih dari setengah juta hasil pencarian dalam waktu kurang dari setengah menit. Bandingkan dengan kata kunci "air raksa" atau "lampu pijar" yang kurang lebih hanya 400 ribuan hasil pencarian. Berikut ini ijin saya mengulas sedikit sejarah munculnya ide lubang hitam beserta perkembangan studinya hingga hari ini.

Fisikawan Subrahmanyan Chandrasekhar, pemenang Nobel fisika tahun 1983, adalah orang pertama yang mencetuskan kemungkinan adanya lubang hitam berdasarkan teori relativitas Einstein. Namun demikian, jauh sebelumnya keberadaan lubang hitam telah diprediksi oleh cendekiawan Inggris John Michell [5] dengan menggunakan teori gravitasi Newton. Einstein sendiri awalnya tidak menyukai ide adanya lubang hitam ini, bahkan menulis sebuah makalah ilmiah yang menunjukkan bahwa ide tentang eksistensi lubang hitam adalah tidak masuk akal [6]. Lebih jauh dalam perkembangannya, tidak dapat ditemukan alasan yang kuat untuk menolak prediksi keberadaan lubang hitam, jika teori gravitasi Einstein diterima sebagai teori yang benar.

Awalnya, dikarenakan keterbatasan observasi dalam astronomi, lubang hitam hanyalah sebatas objek penelitian fisika matematis. Meskipun demikian, lubang hitam tetap mampu menarik perhatian fisikawan teoretik dan matematikawan kaliber wahid dikarenakan masih banyaknya misteri yang belum terpecahkan terkait aspek fisis dan matematisnya. Ditemukan bahwa ada beberapa prinsip dan hukum yang telah *well established* dalam fisika, yang kemudian didapati tidak konsisten satu dengan yang lain ketika membahas fisika lubang hitam. Sebut saja misalnya tentang entropi. Secara sederhana, entropi adalah ukuran keacakan dalam sistem fisis atau biologis [7]. Semakin tinggi entropi sebuah sistem, semakin sedikit informasi yang kita miliki terkait sistem tersebut.

Dalam fisika, hukum termodinamika kedua mengatakan bahwa entropi total alam semesta yang tertutup akan selalu bertambah atau paling tidak sama seiring perjalanan waktu. Di lain pihak, secara klasik, yang artinya hanya berdasarkan pada teori gravitasi Einstein, lubang hitam adalah objek yang "mati" secara termodinamika. Objek ini bersuhu nol Kelvin, serta penambahan massa objek ini misalnya karena ada objek lain yang masuk ke dalamnya, tidak akan meningkatkan aktifitas termodinamika lubang hitam, alias suhunya akan tetap selalu nol.

Maka hal ini menjadi sebuah paradoks. Untuk menjelaskan paradoks ini secara sederhana, kita bisa mengutip percobaan khayal oleh John Wheeler, yang merupakan salah satu fisikawan besar abad 20 dan merupakan orang yang pertama kali memberikan nama lubang hitam untuk kasus bintang mati yang runtuh ke dalam singularitas. Misalkan alam semesta hanya berisi saya dan secangkir teh panas, dan sebuah lubang hitam. Maka total entropi alam semesta mengandung kontribusi entropi oleh tubuh saya, lubang hitam, dan secangkir teh yang saya pegang. Seandainya lubang hitam bergerak mendekati saya, dan saya sanggup menjaga posisi saya tidak tersedot ke dalam lubang hitam tersebut, dan kemudian saya melemparkan teh panas ke dalam lubang hitam, maka dalam kasus ini entropi total alam semesta menjadi berkurang. Tentu hal ini tidak sesuai dengan hukum kedua termodinamika, dan muncul sebuah paradoks.

Paradoks entropi lubang hitam ini akhirnya berhasil dipecahkan oleh Jacob Bekenstein, dan diperkuat oleh argumen Stephen Hawking. Bekenstein mengajukan proposal bahwa lubang hitam memiliki entropi. Entropinya dapat berubah seiring dengan dinamika fisis yang dialami lubang hitam, misalnya pertambahan luas area. Lebih jauh Hawkinglah yang memberikan gambaran fisis yang dapat diterima tentang bagaimana lubang hitam dapat memiliki entropi dan meradiasikan panas. Singkat cerita, paradoks hukum termodinamika kedua untuk lubang hitam berhasil diatasi, dan konsep lubang hitam sebagai benda yang aktif secara termodinamika pun diterima oleh khalayak. Namun demikian, ibarat lepas dari mulut harimau masuk kedalam mulut buaya, argumen Hawking yang cukup meyakinkan komunitas fisika teori tentang bagaimana lubang hitam dapat meradiasi (memancarkan panas) justru menimbulkan masalah baru.

Permasalahan ini dikenal sebagai paradoks Hawking atau paradoks informasi yang hilang oleh lubang hitam. Perhitungan Hawking dalam menjelaskan proses radiasi oleh lubang hitam menggunakan teori kuantum, dan tidak ada seorangpun yang ragu akan kebenaran perhitungannya, dalam arti Hawking menggunakan argumen sederhana dalam teori kuantum yang diterima semua orang. Namun perhitungannya mengindikasikan informasi yang dibawa oleh benda yang masuk ke dalam lubang hitam akan hilang dalam bentuk radiasi secara thermal, artinya informasi tentang konfigurasi benda yang masuk di awal tidak dapat ditelusuri kembali dalam radiasi thermal yang keluar dari lubang hitam [5,8]. Sebenarnya tanpa harus menggunakan pemahaman kuantum, hilangnya informasi oleh lubang hitam dapat dimengerti secara klasik. Fakta dimana tiap lubang hitam dapat dibedakan berdasarkan hanya tiga parameter fisis, yaitu massanya, rotasinya, dan muatan listriknya, adalah juga sifat alamiah lubang hitam yang menghilangkan informasi yang masuk padanya. Bagaimana mungkin benda-benda yang secara unik dan bisa dibedakan, misalnya kulkas, seekor gajah, ataupun berlian, ketika masuk ke dalam lubang hitam, akhirnya hanya akan mengubah 3 parameter fisis dari lubang hitam tersebut. Bentuk dan konfigurasi seekor gajah tentu berbeda dengan sebuah kulkas.

Menurut Leonard Susskind, fisikawan dari Universitas Stanford, kekekalan informasi juga merupakan salah satu prinsip fundamental dalam fisika. Oleh karenanya informasi tidak dapat hilang dalam lubang hitam. Hal senada juga dilontarkan oleh ilmuwan Belanda pemenang Nobel fisika tahun 1999, Gerard 't Hooft, dan bersama Susskind ia mengajukan ide bahwa kemungkinan informasi yang masuk dalam lubang hitam tersimpan di permukaan horisonnya [8,9]. Debat terkait hal ini juga berlangsung hingga hari ini. Misalnya pada tahun 2012 fisikawan dari Universitas California di Santa Barbara, Joseph

Polchinski, bersama rekan-rekannya mengajukan sebuah percobaan khayal yang menunjukkan informasi dapat hilang pada lubang hitam yang dikenal sebagai paradoks *firewall* [17].

## 5. Ketidak stabilan lubang hitam

Jelas bahwa lubang hitam adalah objek penelitian fisika, dikarenakan kehadirannya diprediksi oleh sebuah teori dalam fisika dan data pengamatan astronomi mendukung keberadaan objek ini di alam. Namun demikian, dipahami bahwa penelitian antardisiplin memegang peranan penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan bahkan penemuan bidang kajian yang baru. Sebut saja misalnya antara fisika dan matematika. Untuk sebagian besar fisikawan, matematika adalah "alat", dan untuk sebagian matematikawan, fisika adalah "terapan". Misalnya untuk lubang hitam yang pada awalnya hanyalah sebuah objek matematis, penelitian dalam lubang hitam secara teoretik membutuhkan teknik matematika yang cukup kompleks. Sebut saja geometri diferensial, yang juga merupakan teknik matematika yang menjadi dasar persamaan Einstein, dan juga analisis persamaan diferensial parsial digunakan matematikawan dalam meneliti lubang hitam secara matematis.

Selain permasalahan hilangnya informasi pada lubang hitam yang telah kita bahas sebelumnya, lubang hitam juga masih menyimpan berbagai pertanyaan lain. Salah satu diantaranya yang cukup menarik minat matematikawan saat ini adalah apakah lubang hitam stabil atau tidak. Secara fisis dapat digambarkan sebagai berikut. Apakah kehadiran partikel di sekitar lubang hitam memungkinkan lubang hitam tersebut menjadi tidak stabil dan akhirnya hilang? Pertanyaan ini muncul karena dimungkinkan partikel "mencuri" energi dari lubang hitam, dan proses semacam ini jika terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan lubang hitam terkait menjadi lenyap. Untuk lubang hitam yang diam atau tidak berotasi, proses semacam ini secara matematis telah dibuktikan tidak mungkin terjadi [11]. Tetapi jika lubang hitam dalam keadaan berputar, dan diyakini mayoritas lubang hitam di alam ini berputar, maka dimungkinkan partikel dengan energi tertentu yang datang mendekatinya akan mencuri energi dari lubang hitam dan pergi meninggalkan lubang hitam ini [12]. Saat ini, perdebatan tentang ini masih hangat, baik di kalangan fisikawan maupun matematikawan. Sebut saja misalnya matematikawan Mihalis Dafermos dari Universitas Cambridge, Stefanos Aretakis dari Universitas Princeton, dan masih banyak matematikawan lain yang mencoba menerapkan analisis untuk persamaan diferensial parsial dan geometri diferensial untuk menguji kestabilan solusi persamaan gelombang terkait geometri lubang hitam [13,14].

Selain dalam permasalahan kestabilan, matematikawan juga ikut berkontribusi dalam berbagai aspek matematis lubang hitam. Misalnya matematikawan pemenang medali Fields dari Universitas Harvard Shing-Tung Yau juga ikut dalam studi proses radiasi Hawking dengan metoda terobos halang [15]. Demikian juga Sir Roger Penrose dari Universitas Oxford, yang merupakan salah satu matematikawan yang ikut membidani dasar-dasar matematis lubang hitam di awal riset objek ini tahun 1960 an, berkontribusi memberikan ide-ide tentang apa yang mungkin terjadi di dalam lubang hitam [5].

## 6. Kontribusi sains komputer?

Subjudul di atas sengaja berupa kalimat tanya, karena sepertinya tidak ada kaitan antara sains komputer dan riset lubang hitam. Dewasa ini batas antara disiplin ilmu sangat tipis, ditemukan adanya irisan antara sains komputer dan fisika terkait permasalahan lubang hitam. Seiring perkembangan cabang ilmu fisika komputer kuantum, yang juga ternyata menjadi objek menarik juga di kalangan ilmuwan komputer dan matematikawan, proses radiasi Hawking yang merupakan sumber permasalahan hilangnya informasi dirasakan barangkali akan mendapat jalan keluar jika sudut padangnya diambil dari pengetahuan yang telah dibangun dalam konteks komputer kuantum [8].

Terkait dengan riset antardisiplin, usaha untuk mendapatkan kontribusi atau sudut pandang sains komputer terhadap permasalahan hilangnya informasi pada lubang hitam, misalnya dapat dilihat diundangannya ilmuwan komputer dari MIT, Scott Aaronson, dalam sebuah konferensi yang khusus membahas paradoks informasi hilang pada lubang hitam di KITP Santa Barbara beberapa tahun lalu [16], yang mayoritas pesertanya adalah fisikawan. Hal ini merupakan salah satu realisasi nyata kerjasama antardisiplin yang dipandang perlu untuk mendapatkan sudut pandang yang lebih luas terhadap suatu permasalahan.

Lebih jauh, sisi praktis penelitian lubang hitam juga sangat terbantu dengan hadirnya arxiv.org yang merupakan ide dari seorang profesor *Information Science* di Universitas Cornell, Paul Ginsparg. Media arxiv.org ini merupakan tempat penyimpanan preprint dan publikasi ilmiah, dan cukup banyak makalah yang tersimpan dalam media ini membahas tentang lubang hitam. Kehadiran media arxiv.org ini dirasa sangat membantu penelitian, khususnya tentang lubang hitam, karena mempercepat dan mempermudah penyebaran informasi di kalangan peneliti.

## 7. Riset di FTIS-Unpar

Para dosen di FTIS-Unpar berpotensi untuk menjadi ilmuwan yang aktif dalam disiplin ilmu masing-masing, yaitu matematika, fisika, dan teknik informatika, dan juga untuk melakukan penelitian antardisiplin. Dari uraian sebelumnya, dapat dipahami bahwa permasalahan fisis dan matematis terkait lubang hitam dapat menjadi sebuah peluang kontribusi FTIS-Unpar dalam perkembangan sains fundamental, baik secara monodisiplin ataupun antardisiplin. Tentu saja masih banyak permasalahan lain yang juga dapat objek penelitian bersama, misalnya ekonofisika, dinamika fluida nonlinier, fraktal, dan lain sebagainya.

Untuk melakukan penelitian yang baik, jelas diperlukan faktor penunjang yang memadai. Dalam orasi ilmiahnya tahun 2006 [10], Dr. Dharma Lesmono menyampaikan bahwa dana riset, pemberian insentif untuk publikasi riset, dan kompensasi 2 sks untuk riset hendaklah dianggap sebagai langkah awal dari Yayasan atau Universitas untuk menggalakkan kegiatan riset, disamping masih perlunya gebrakan-gebrakan lain yang lebih baik. Didapati bahwa pada hari ini, ada dari langkah awal ini yang telah berlangsung cukup baik, dan ada juga yang belum.

## 8. Penutup

Dalam orasi ini telah dipaparkan beberapa aspek tentang lubang hitam dan permasalahan terkait yang masih belum terpecahkan hingga hari ini. Dengan formasi seperti saat ini, dan dengan dukungan yang ada, baik dari Yayasan dan Universitas (LPPM) ataupun DIKTI, FTIS-Unpar dirasa berpotensi untuk dapat memberikan sumbangsih dalam perkembangan sains fundamental, khususnya permasalahan lubang hitam. Hal ini dapat dilakukan baik melalui penelitian perorangan maupun kerjasama lintas disiplin. Dirgahayu FTIS-Unpar, Bakuning Hyang Mrih Guna Santyaya Bhakti.

## Acuan

- [1]. <http://www.hawking.org.uk/does-god-play-dice.html>
- [2]. <http://www.aip.org/history/einstein/ae63.htm>
- [3]. [http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Le\\_Verrier.html](http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Le_Verrier.html)
- [4]. Falcke, H (Editor), Hehl, F (Editor), *The Galactic Black Hole: Lectures on General Relativity and Astrophysics (Series in High Energy Physics, Cosmology and Gravitation)*, CRC Press, 2002.
- [5]. Thorne, Kip S., *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*, W. W. Norton & Company, 1994.
- [6]. Einstein, A., *On a Stationary System With Spherical Symmetry Consisting of Many Gravitating Masses*, *Annals of Mathematics, Second Series*, Vol. 40, No. 4, 1939.
- [7]. Marinescu, D.C., Marinescu, G. M., *Classical and Quantum Information*, Academic Press, 2011.
- [8]. Susskind, L., Lindesay, J., *An Introduction to Black Holes, Information and the String Theory Revolution*, World Scientific, 2004.
- [9]. Susskind, L., *The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics*, Little, Brown and Company, 2008.
- [10]. Lesmono, J. D., *Pengembangan Ilmu-Ilmu Dasar Melalui Riset antar Disiplin, Orasio Dies Natalis ke-13, FMIPA, Universitas Katolik Parahyangan*, 2006.
- [11]. Regge, T., Wheeler, J. A., *Phys. Rev.* 108, 1063, 1957.
- [12]. Teukolsky, S. A., *Perturbations of a Rotating Black Hole. I. Fundamental Equations for Gravitational, Electromagnetic, and Neutrino-Field Perturbations*, *Astrophysical Journal*, Vol. 185, pp. 635-648, 1973.
- [13]. <https://www.dpmms.cam.ac.uk/~md384/research/stability-of-black-holes/>

[14]. <https://web.math.princeton.edu/~aretakis/>

[15]. Ejaz, A., Gohar, H., Lin, H., Saifullah, K., Yau, Shing-Tung, Quantum tunneling from three-dimensional black holes, Phys.Lett. B726, 827-833, 2013.

[16]. <http://online.kitp.ucsb.edu/online/fuzzorfire-m13/>

[17]. <http://www.scientificamerican.com/article/black-hole-firewalls-confound-theoretical-physicists/>