

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu bidang kajian fisika yang paling menarik dan berkembang sangat pesat adalah kosmologi, yaitu studi tentang asal-mula, isi, bentuk, dan evolusi alam semesta. Kosmologi modern muncul dari teori relativitas umum Einstein yang intinya adalah teori gravitasi. Dalam teori yang dipublikasikan pada 1916 itu, Einstein merumuskan persamaan diferensial yang menghubungkan distribusi materi di alam semesta dengan kurvatur ruang-waktu (Serway, dkk., 2005).

Pada mulanya Einstein meyakini alam semesta ini statis, tidak berubah terhadap waktu. Masalahnya kemudian muncul ketika ia menyadari bahwa gravitasi merupakan satu-satunya gaya yang bersifat hanya menarik, sehingga secara alami menyebabkan obyek-obyek di alam semesta yang statis menjadi meluruh ke satu titik. Untuk mengatasi masalah tersebut Einstein terpaksa harus menambahkan suatu besaran yang ia sebut konstanta kosmologi Λ (lamda) ke dalam persamaan diferensialnya. Besaran yang merepresentasikan gaya tolak (gaya anti-gravitasi) ini ternyata memunculkan masalah baru karena sifatnya yang tidak bergantung pada massa dan makin besar dengan makin jauhnya jarak pisah antargalaksi (Morison, 2008).

Masalah kosmologi Einstein terpecahkan pada 1922 dan 1924 ketika Alexander Friedmann memecahkan persamaan-persamaan Einstein untuk menghasilkan seperangkat model yang memperlihatkan bahwa alam semesta

mengembang dari suatu titik, atau singularitas. Model Friedmann, yang oleh Fred Hoyle dinamai Big Bang, ini terdiri dari dua model alam semesta non-statik, yaitu alam semesta yang mengembang (disebut alam semesta terbuka) dan alam semesta yang mengerut (disebut alam semesta tertutup).

Model alam semesta Friedmann terbukti kebenarannya pada 1929, setelah Edwin Hubble membuat pernyataan bahwa alam semesta secara keseluruhan sedang mengembang. Hal ini didasarkan pada hasil pengamatannya terhadap kecerlangan (*brightness*) bintang-bintang variable *cepheid* yang terdapat pada galaksi-galaksi jauh. Spektrum cahaya dari galaksi-galaksi tersebut teramati bergeser ke arah merah.

Nilai pergeseran merah (*redshift*) z yang diperoleh Hubble ternyata sebanding dengan kecepatan (laju menjauh) galaksi. Berdasarkan fakta tersebut Hubble menyimpulkan bahwa laju pengembangan alam semesta sebanding dengan radiusnya (jarak galaksi terjauh yang dapat teramati) dan dengan konstanta yang kemudian dikenal sebagai konstanta Hubble. (Hubble, 1929).

Konstanta Hubble memegang peranan penting dalam kosmologi karena konstanta ini tidak hanya memberitahu kita laju pengembangan alam semesta tetapi juga kerapatan, besar percepatan atau perlambatan, usia, dan radiusnya. Masalahnya, penentuan konstanta Hubble yang akurat tidaklah mudah. Kecepatan menjauh galaksi memang dapat diperoleh dengan mudah, namun penentuan jaraknya menjadi masalah tersendiri ketika jarak tersebut sangat jauh. Untuk obyek-obyek yang sangat jauh, jarak galaksi tidak dapat ditentukan dengan metode-metode paralaks trigonometri, paralaks spektroskopi atau metode *main*

sequence fitting. Oleh sebab itu, masalah ini kemudian didekati dengan menggunakan metode lilin standar (*standard candle*), yaitu dengan mengasumsikan bahwa sebuah obyek atau properti obyek yang digunakan sebagai standar pengukuran akan memiliki sifat dan keberlakuan yang sama di manapun di jagat raya ini (Liddle, 2003). Dengan kata lain, alam semesta bersifat isotropis dan homogen, sehingga hukum-hukum fisika di manapun berlaku serba sama dan dengan demikian dapat dibandingkan satu sama lain dengan gejala fisika di Galaksi kita.

Jarak galaksi dapat diketahui dengan mengukur jarak luminositasnya (Baade, 1938). Obyek yang paling banyak digunakan dalam mengukur jarak luminositas adalah supernova tipe Ia karena ia memiliki kecerlangan intrinsik yang hampir sama untuk setiap peristiwa supernova tipe Ia. Selain itu supernova tipe Ia bersinar sangat terang, bahkan lebih terang dari galaksi tempatnya dalam beberapa minggu dan akan memudar dalam hitungan bulan. Hal inilah yang menjadi alasan supernova tipe Ia dijadikan sebagai *standard candle* (Perlmutter, 2003).

Sifat alami alam semesta digambarkan oleh model kosmologi Friedmann-Lemaitre. Model ini menggambarkan alam semesta ideal yang tanpa struktur (*structureless*), dan mematuhi prinsip kosmologi lemah—yaitu homogenitas dan isotropi. Model Friedmann-Lemaitre dengan dominasi-materi dicirikan oleh kehadiran nilai-nilai parameter kerapatan Ω_0 dan konstanta Hubble H_0 . Semua parameter kosmologi lainnya, seperti umur alam semesta t_0 , kerapatan massa ρ_0 , parameter perlambatan q_0 , atau parameter kurvatur k , dapat dinyatakan dalam

terminology Ω_0 dan H_0 (Premadi, dkk., 1997). Ada beragam nilai H_0 yang telah diperoleh dari sekian banyak penelitian dengan beragam jumlah data yang digunakan (Morison, 2008).

LaViolette (1985) menjelaskan bahwa ada empat tes kosmologi untuk menentukan parameter kosmologi dan kurvatur alam semesta, yaitu uji ukuran sudut terhadap redshift, uji diagram Hubble, uji cacah galaksi per-satuan magnitudo per satuan volum, dan uji penghitungan kerapatan fluks. Diagram Hubble merupakan tes yang paling baik yang bisa menjelaskan sejarah perubahan ukuran alam semesta. Riset yang dinamakan *Hubble Space Telescope (HST) Key Project* melakukan pengamatan dan pengembangan metode untuk mendapatkan keakuratan konstanta Hubble +/- 10%, sehingga nantinya digunakan untuk menentukan angka laju pengembangan alam semesta saat ini. *HST Key Project* mendapatkan nilai konstanta Hubble sebesar $H_0 = 72 \pm 8 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Freedman (2001) yang tergabung dalam tim *HST Key Project* melakukan pengukuran konstanta Hubble terbaru dengan menggunakan lima metode yaitu: Supernova tipe Ia ($H_0 = 71 \pm 2 \pm 6$), *Tully-Fisher* ($H_0 = 71 \pm 3 \pm 7$), *Surface Brightness Fluctuations* ($H_0 = 70 \pm 5 \pm 6$), Supernova tipe II ($H_0 = 72 \pm 9 \pm 7$) dan *Fundamental Plane* ($H_0 = 82 \pm 6 \pm 9$). Berdasarkan data yang didapatkan oleh Freedman nilai error terkecil terdapat pada supernova tipe Ia yaitu sebesar ± 2 (*random*) dan ± 6 (*systematic*). Hal tersebut lalu dibandingkan dengan hasil yang menggunakan beberapa metode di antaranya: (a) lensa gravitasi $H_0 = 71 \pm 6 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, (b) menggunakan misi luar angkasa WMAP $H_0 = 73,5 \pm 3,5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

¹, (c) menggabungkan data WMAP dengan data kosmologi lainnya $H_0 = 70,8 \pm 1,6$ $\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ (Morison, 2008).

Menurut Knop (2003) menggunakan 11 supernova tipe Ia dengan nilai rentang redshift $z = 0,36-0,86$ didapatkan hasil $\Omega_M = 0,25^{+0,07}_{-0,06} \pm 0,04$, $\Omega_\Lambda = 0,75^{+0,06}_{-0,07} \pm 0,04$, dan $w = -1,05^{+0,15}_{-0,20} \pm 0,09$. Selanjutnya Astier (2006) menggunakan data 71 supernova tipe Ia tahun pertama pada SNLS membuat diagram Hubble dan mendapatkan hasil $\Omega_M = 0,263 \pm 0,042(\text{stat}) \pm 0,032(\text{sys})$ dan $w = -1,023 \pm 0,090(\text{stat}) \pm 0,054(\text{sys})$. Putri (2013) menggunakan data 468 supernova tipe Ia untuk mendapatkan nilai-nilai dari parameter kosmologi yaitu $H_0 = 69,77 \pm 2,10$, $\Omega_M = 0,18$, $\Omega_\Lambda = 0,82$, dan $w = -1$. Wang (2000) menggunakan 92 supernova tipe Ia dengan dua rentang redshift yaitu $z = 0,05$ mendapatkan nilai $H_0 = 65 \pm 1 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ pada $\Omega_m = 0,7 \pm 0,4$ dan $\Omega_\Lambda = 1,2 \pm 0,5$. Dan $z = 0,1$ dengan $H_0 = 65 \pm 1 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ pada $\Omega_m = 0,3 \pm 0,6$ dan $\Omega_\Lambda = 0,7 \pm 0,7$.

Para ahli terus berupaya untuk mengetahui laju pengembangan alam semesta yang lebih akurat karena dengan data tersebut para ahli akan dapat menentukan luas, umur alam semesta. Dewasa ini survei tentang supernova tipe Ia makin banyak dilakukan, sehingga menghasilkan data yang makin banyak pula. Data tersebut sangat beragam, meliputi nilai *redshift* (z) dari yang rendah hingga tinggi. *Redshift* dengan nilai yang tinggi sangat mungkin memiliki *error* yang besar karena keterbatasan kemampuan alat atau hal teknis lainnya. Akibatnya,

nilai laju pengembangan alam semesta yang diperoleh menjadi tidak begitu akurat.

Dalam penelitian tugas akhir ini, penentuan laju pengembangan alam semesta dilakukan dengan menggunakan data *redshift* rendah ($z \leq 0,05$) supernova tipe Ia. Data tersebut diperoleh dari *Supernova Cosmology Project* pada situs <http://supernova.lbl.gov/>.

1.2 Tujuan Penelitian dan Manfaat Penelitian

1.2.1 Tujuan Penelitian

Memahami penggunaan data supernova tipe Ia untuk menentukan laju pengembangan alam semesta.

1.2.2 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui laju pengembangan alam semesta.
2. Mengetahui jarak kosmologis dengan akurat.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan 151 data supernova tipe Ia yang diperoleh dari *Supernova Cosmology Project* pada situs <http://supernova.lbl.gov/>. Data tersebut merupakan hasil pengamatan menggunakan *Hubble Space Telescope*. Data diolah menggunakan *software Python* untuk menghasilkan diagram Hubble dan parameter kosmologi yang menggambarkan laju pengembangan alam semesta.

