

Laju Pengembangan Alam Semesta Berdasarkan Data Supernova Tipe Ia

Fitri Rahma Yanti^{1*}, Wildian¹, Premana W. Premadi²

Jurusan Fisika, Universitas Andalas^{1,*}

Prodi Astronomi, Institut Teknologi Bandung²

*fitrirahma.sulin@gmail.com

ABSTRAK

Analisa data yang diperoleh dari supernova tipe Ia (SN Ia) dapat memberikan informasi mengenai pengembangan alam semesta. Laju pengembangan alam semesta didefinisikan dengan konstanta Hubble (H_0). Dalam tugas akhir ini digunakan 151 data SN Ia dengan $z \leq 0,05$ yang diunduh dari *Supernova Cosmology Project*. Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai H_0 yaitu dengan mendapatkan nilai gradien dari diagram Hubble memberikan hasil $H_0 = 66,67 \pm 1,20 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ dan menggunakan persamaan Friedmann yang dilambangkan dengan H_0' dengan masukkan beberapa nilai konstanta perlambatan (q_0). Residu ($H_0' - H_0$) terkecil memberikan $H_0' = 66,73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = -0,55$) dengan residu 0,059087403, $H_0' = 66,69 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = 0,5$) dengan residu 0,023110894, $H_0 = 67,94 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = -1$) dengan residu 0,069846939 dan $H_0 = 67,91 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = 0,15$) dengan residu 0,036582237. Hasil ini menunjukkan bahwa menggunakan data dengan z rendah akan memberikan nilai H_0 yang berbeda dengan z tinggi. Berdasarkan keempat nilai residu di atas yang memiliki perbedaan sangat kecil namun memberikan bentuk geometri yang berbeda sehingga geometri alam semesta tidak dapat ditentukan dari hanya menggunakan data supernova tipe Ia dengan *redshift* rendah.

Kata Kunci : Supernova tipe Ia, konstanta Hubble, gradien, persamaan Friedmann

ABSTRACT

Data analysis of type Ia supernovae (SN Ia) can provide information about the expansion of the universe. The current rate of expansion is defined as the Hubble constant (H_0). This research used 151 data with $z \leq 0.05$ which is downloaded from Supernova Cosmology Project. The method used to determine the value of H_0 is obtained from gradient of Hubble diagram which its result is $H_0 = 66.67 \pm 1.2 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ and used Friedmann equation with some of deceleration constant (q_0). The smallest residue ($H_0' - H_0$) obtaining $H_0' = 66.73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = -0.55$) with residue = 0.05908740, $H_0' = 66.69 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = 0.5$) with residue = 0.023110894, $H_0 = 67.94 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = -1$) with residue = 0.069846939 and $H_0 = 67.91 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($q_0 = 0.15$) with residue = 0.036582237. The results indicate that by using the data with low z will provide different value of H_0 with high z . Based on the four residues value having very small difference but giving different geometry form, so geometry of the universe can not be determined from only using the data type Ia supernovae with low redshift.

Keyword : Type Ia Supernovae, Hubble constant, gradient, Friedmann equation, Hubble time

I. PENDAHULUAN

Penelitian dengan menggunakan teknologi modern mengungkapkan bahwa alam semesta memiliki permulaan dan terus mengembang. Fakta ini didukung oleh data pengamatan Edwin Hubble pada tahun 1929 yang mengamati langit menggunakan teleskop, ia mendapati bahwa galaksi-galaksi terus bergerak menjauhi kita. Hubble mendapatkan bahwa semakin jauh suatu galaksi maka akan semakin cepat ia bergerak (Hubble, 1929). Hal ini diketahui melalui spektrum cahaya galaksi-galaksi yang garis-garisnya menunjukkan pergeseran ke arah frekuensi yang lebih rendah atau ke arah warna yang lebih merah. Kesimpulannya galaksi bergerak menjauh setiap saat, yang disebabkan oleh alam semesta yang mengembang (Sutantyo, 2010).

Alam semesta dapat dianalisa dengan memperhatikan kondisi fisis skala besarnya yang dirangkum dalam parameter kosmologi, yaitu kerapatan massa (Ω_m), kerapatan energi vakum (Ω_Λ), persamaan keadaan (w), dan konstanta Hubble (H_0) sebagai nilai laju pengembangan alam semesta. Berbagai metode dikembangkan untuk menentukan laju pengembangan alam semesta, salah satunya mengamati objek langit yang dipilih sebagai lilin penentu jarak (*standard candle*) dengan mengukur jarak luminositas (Baade, 1938). Supernova tipe Ia adalah objek yang paling banyak digunakan dalam mengukur jarak luminositas karena ia memiliki kecerlangan intrinsik yang hampir sama untuk setiap peristiwa supernova tipe Ia.

Beberapa penelitian yang terkait telah dilakukan 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 $w = -1$ dengan cara *fitting* data. Wang (2000) menggunakan 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 $\Omega_\Lambda = 0,7 \pm 0,7$.

Dalam penelitian ini digunakan 151 data supernova tipe Ia dengan rentang *redshift* $z \leq 0,05$ yang diolah menggunakan *software Python* untuk membangun diagram Hubble sehingga mendapatkan laju pengembangan alam semesta yang dilambangkan dengan H_0 . Berbeda dari penelitian sebelumnya pada penelitian ini fokus pada *redshift* rendah ($z \leq 0,05$) yang diharapkan menghasilkan nilai parameter kosmologi yang lebih baik karena pada *redshift* rendah hanya akan memberikan nilai *error* setiap data yang lebih kecil. Selain itu nilai H_0 didapatkan dengan menggunakan persamaan model Friedmann (Pers. 1) dengan memasukkan berbagai nilai parameter perlambatan q_0 untuk mendapatkan gambaran geometri alam semesta.

$$m - M \approx 43,17 - 5 \log \left(\frac{H_0}{70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}} \right) + 5 \log z + 1,086(1 - q_0)z \tag{1}$$

Nilai H_0 dapat memberikan nilai umur Hubble melalui hubungan :

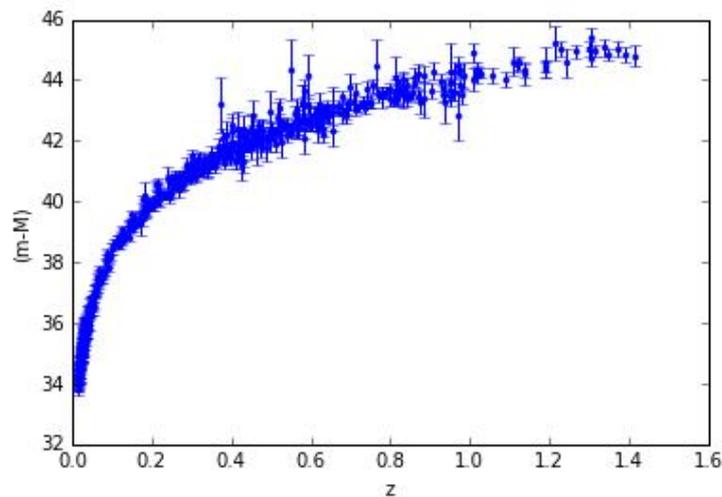
$$t = \frac{1}{H_0} \tag{2}$$

II. METODE

Data supernova tipe Ia yang digunakan diunduh dari *Supernova Cosmology Project* dengan situs <http://supernova.lbl.gov/> yang diamati menggunakan *Hubble Space Telescope*. Dalam penelitian ini data dibatasi pada $z \leq 0,05$ yang memberikan jumlah data sebanyak 151 data. Hal ini bertujuan untuk menghindari *error* yang besar. Data tersebut diplot dalam bentuk kurva Hubble dengan hubungan antara kecepatan (cz) dengan jarak luminositas (dl). Nilai gradien kurva Hubble menunjukkan nilai laju pengembangan alam semesta yang dilambangkan dengan H_0 . Selanjutnya nilai H_0 didapatkan dengan menggunakan Pers.1 yang dilambangkan dengan H_0' dengan memasukan nilai q_0 diantaranya $-0,55$ ($\Omega_m = 0,3 \quad \Omega_\Lambda = 0,7$), $0,5$ ($\Omega_m = 1 \quad \Omega_\Lambda = 0$), -1 ($\Omega_m = 0 \quad \Omega_\Lambda = 1$), dan untuk kasus alam semesta terbuka diberikan nilai $q_0 = 0,15$ ($\Omega_m = 0,3 \quad \Omega_\Lambda = 0$) (Schneider, 2015). Nilai $H_0 - H_0'$ akan menghasilkan nilai residu, residu terkecil akan memberikan data terbaik.

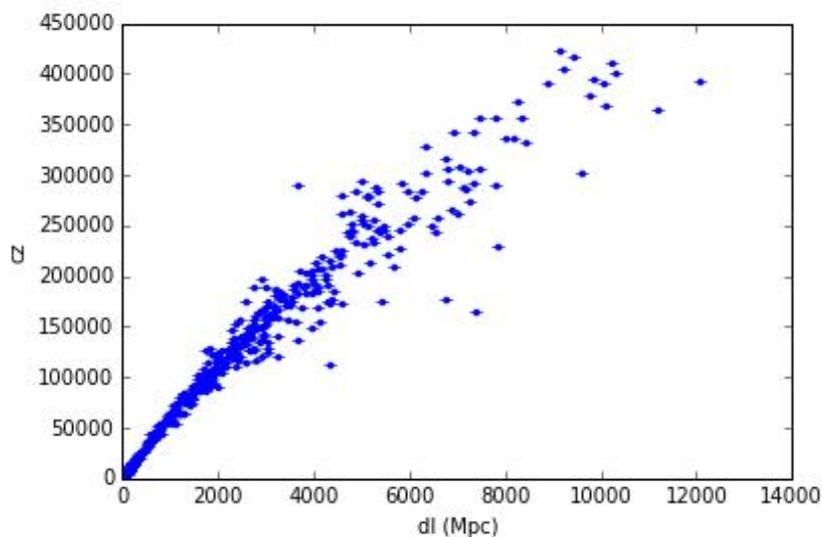
III. HASIL DAN DISKUSI

Laju pengembangan alam semesta dapat digambarkan melalui diagram Hubble. Diagram Hubble dapat dibangun dalam hubungan *redshift* (z) dengan modulus jarak ($m-M$) (lihat Gambar 1).



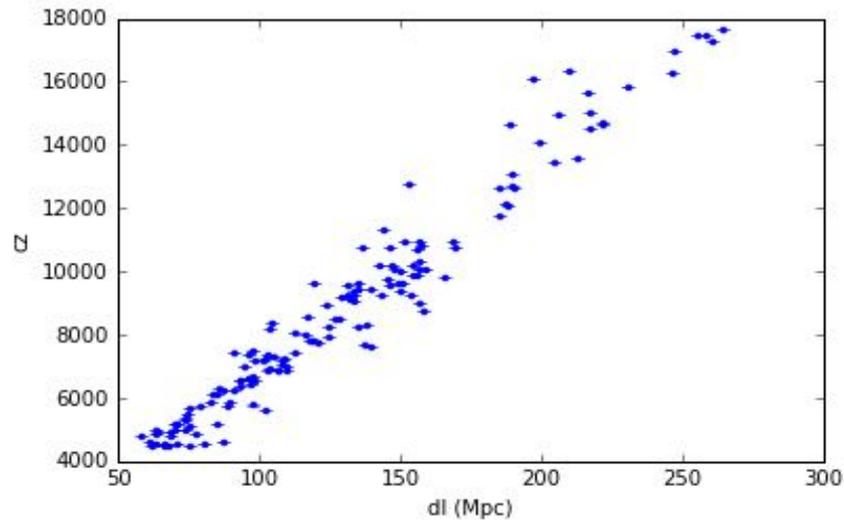
Gambar 1 Diagram Hubble dalam modulus jarak ($m-M$) dengan *redshift* (z)

Diagram Hubble yang diberikan oleh Gambar 1 diubah ke bentuk kurva yang lebih linier dengan hubungan kecepatan cahaya dikalikan dengan *redshift* (cz) dengan jarak luminositas (dl) dalam satuan Mpc menggunakan Pers. 1. Lihat Gambar 2.



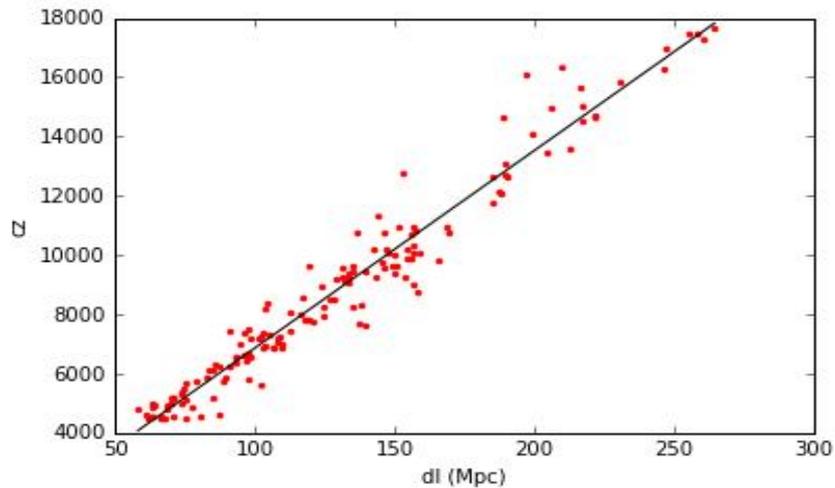
Gambar 2 Diagram Hubble dalam *redshift* (z) dengan jarak luminositas dl (Mpc)

Gambar 2 dapat dilihat bagian linear pada rentang *redshift* rendah untuk menentukan nilai konstanta Hubble (H_0) yang menggambarkan laju pengembangan alam semesta. Dalam penelitian ini digunakan data supernova tipe Ia dalam rentang *redshift* ($z \leq 0,05$), data ini berjumlah 151 data. Pemilihan data ini berdasarkan keterbatasan persamaan Friedman yang hanya berlaku pada data dengan rentang *redshift* rendah ($z \ll 1$) (Ryden, 2006). Selain itu pemilihan data tersebut berdasarkan pertimbangan nilai *error* masing-masing data yang semakin besar pada *redshift* tinggi.



Gambar 3 Diagram Hubble dalam *redshift* (z) dengan jarak luminositas $z \leq 0,05$

Data diolah menggunakan *software Python* untuk mendapatkan nilai gradien dari diagram Hubble (Gambar 3) yang menjadi nilai konstanta Hubble dan nilai *error*-nya. Nilai yang didapat sebesar $H_0 = 66,67359076$ dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Hubble dengan gradien garis pada data $z \leq 0,05$

Nilai error didapatkan dengan menggunakan fungsi *std_err* pada program *python*, sehingga menghasilkan nilai *error* sebesar 1,19526489048, dapat ditulis $H_0 = 66,67 \pm 1,20$. Nilai H_0 dari gradien sebesar $66,67 \pm 1,20$ dipecah menjadi tiga nilai yaitu, 66,67 , 67,78 ($66,67+1,2$), dan 65,47 ($66,67-1,2$). Waktu Hubble didapatkan dengan menggunakan Pers. 2. Konstanta Hubble juga didapatkan dari persamaan yang memberikan hubungan antara modulus jarak dan *redshift* (Pers.1) dilambangkan dengan H_0' . Menggunakan asumsi bahwa alam semesta datar ($\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$) maka untuk kasus khusus pada Pers. 1 diberi masukkan dengan berbagai macam nilai q_0 diantaranya -0,55 ($\Omega_m = 0,3 \ \Omega_\Lambda = 0,7$), 0,5 ($\Omega_m = 1 \ \Omega_\Lambda = 0$), -1 ($\Omega_m = 0 \ \Omega_\Lambda = 1$) untuk asumsi alam semesta datar, dan untuk kasus alam semesta terbuka diberikan nilai $q_0 = 0,15$ ($\Omega_m = 0,3 \ \Omega_\Lambda = 0$) (Schneider, 2015). Sehingga diperoleh 151 nilai H_0' untuk setiap masukkan nilai q_0 . Nilai H_0' tersebut dikurangi dengan masing-masing tiga nilai H_0 (66,67 , 67,78 , 65,47) sehingga diperoleh nilai residu. Residu terkecil merupakan pilihan terbaik yang paling mewakili data. Hasil olah data dapat dilihat sebagai berikut.:

Tabel 1 Nilai $H_0 = 66,67$ $t = 14,745$ Gyr

q_0	H_0' (km s ⁻¹ Mpc ⁻¹)	Residu
-0,55	66,7290874	0,059087403
0,5	66,69311089	0,023110894
-1	66,86533557	0,195335573
0,15	66,80632628	0,136326283

Tabel 2 Nilai $H_0 = 67,87$ $t = 14,481$ Gyr

q_0	H_0' (km s ⁻¹ Mpc ⁻¹)	Residu
-0,55	67,94413371	0,074133705
0,5	67,90357145	0,033571453
-1	67,93984694	0,069846939
0,15	67,90658224	0,036582237

Tabel 3 Nilai $H_0 = 65,47$ $t = 15,014$ Gyr

q_0	H_0' (km s ⁻¹ Mpc ⁻¹)	Residu
-0,55	65,64640449	0,176404493
0,5	65,63699633	0,166996329
-1	65,60002381	0,130023811
0,15	65,68360919	0,213609188

Tabel 4 Data dengan residu terkecil untuk masing-masing q_0

H_0 (km s ⁻¹ Mpc ⁻¹)	q_0	H_0' (km s ⁻¹ Mpc ⁻¹)	Residu
66,67	-0,55	66,7290874	0,059087403
66,67	0,5	66,69311089	0,023110894
67,87	-1	67,93984694	0,069846939
67,87	0,15	67,90658224	0,036582237

Tabel 1, 2 dan 3 dibandingkan untuk memperoleh residu terkecil pada setiap nilai q_0 . Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa untuk kasus khusus yang dipresentasikan dengan nilai q_0 dapat memberikan nilai H_0 yang berbeda-beda. Nilai residu terkecil diberikan sebesar 0,0023110894 dengan nilai $q_0 = 0,5$ yang mempresentasikan geometri alam semesta yang datar. Jika dilihat dari keempat nilai residu diatas terlihat hanya memiliki perbedaan yang sangat kecil, namun perbedaan ini memberikan nilai geometri alam semesta yang berbeda. Hal ini sangat tidak relevan dengan keadaan yang terjadi saat ini. Hasil yang didapatkan diatas masih berada dalam rentang nilai H_0 yang dikemukakan oleh *Hubble Space Telescope* yaitu $H_0 = 72 \pm 8$ km s⁻¹ Mpc⁻¹.

IV. KESIMPULAN

Supernova tipe Ia merupakan salah satu objek yang dapat dijadikan *standard candle*. Data supernova tipe Ia dapat digunakan untuk menentukan laju pengembangan alam semesta. Data supernova tipe Ia dengan z (*redshift*) rendah menghasilkan nilai H_0 yang berbeda dari z tinggi dan memberikan nilai *error* (*error slope* gradien) yang lebih kecil. Berdasarkan nilai gradien diagram Hubble didapatkan nilai H_0 yaitu sebesar $H_0 = 66,67 \pm 1,20$ km s⁻¹ Mpc⁻¹ dan dengan menggunakan persamaan Friedmann didapatkan hasil $H_0 = 66,69$ km s⁻¹ Mpc⁻¹ dengan masukkan nilai $q_0 = 0,5$ yang mengindikasikan alam semesta mengembang datar. Geometri alam semesta tidak dapat ditentukan dengan hanya menggunakan data supernova tipe Ia *redshift* rendah.

DAFTAR PUSTAKA

Hubble, E., 1929, A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae, *PNAS*, 168-73

- Putri, A.N.I., 2013, Supernova Ia sebagai Alat Ukur Parameter Kosmologi, *Skripsi*, Jurusan Astronomi, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Ryden, B, 2006. *Introduction to Cosmology (The Ohio State University)*, Addison Wesley, San Fransisco
- Schneider, P., 2015. *Extragalactic Astronomy and Cosmology*. Springer, Berlin
- Sutantyo, W., 2010, *Bintang-bintang di Alam Semesta*, ITB, Bandung
- Wang, Y., 2000, Flux- Averaging Analysis of Type Ia Supernovae Data, *ApJ*, Princeton