

LAPORAN
PROFIL KERAPATAN PIRINGAN GALAKSI DAN KETINGGIAN
MATAHARI

Ditujukan untuk memenuhi salah satu tugas mata kuliah AS3202 Fisika Galaksi



oleh:

Fathia Rahmi Izzati	10319034
Tasya Nadzmus Soraya	10319035
Anneke Dian Islamiati	10319037

PROGRAM STUDI ASTRONOMI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2022

A. Latar Belakang

Galaksi Bima Sakti adalah galaksi yang memiliki bentuk spiral. Galaksi Bima Sakti memiliki struktur seperti inti, bulge, piringan, lengan spiral, dan halo. Di Galaksi Bima Sakti terdapat kutub galaktik. NGP atau kutub utara galaktik terletak di sepanjang garis yang melalui pengamat dan tegak lurus terhadap ekuator galaksi. Di ujung lain dari garis ini adalah kutub selatan galaktik dengan $b = -90$ derajat. NGP terletak di konstelasi Coma Berenices sedangkan SGP terletak di konstelasi Sculptor.

Ada dua jenis piringan yaitu piringan tipis dan tebal. Piringan tipis berisi debu dan gas, serta bintang-bintang muda sedangkan piringan tebal berisikan bintang yang sudah tua dan sangat dekat dengan akhir riwayat hidupnya. Kerapatan jumlah bintang berkurang saat kita melihat dari pusat galaksi menuju kutub galaksi, karena kita melihat keluar dari piringan Bima Sakti.

Matahari berada di tepi galaksi Bimasakti. Arah pusat galaksi Bimasakti terletak di koordinat $(\alpha, \delta) = (0, 0)$ dan arah kutub utara galaksi Bimasakti terletak di koordinat $(\alpha, \delta) = (0, 90)$, serta mempunyai nilai sudut inklinasi bidang galaksi yaitu $i \approx 60^\circ$ terhadap ekuator langit.

Survei langit adalah salah satu cara untuk mengetahui struktur galaksi Bimasakti dalam pengamatan melalui Bumi. Gaia adalah salah satu misi survei langit yang pada 2018 lalu sudah merilis Data Release 2 (DR2). Dengan menggunakan data survei langit oleh Gaia dengan cakupan 4 kpc, analisis mengenai profil kerapatan piringan galaksi Bimasakti dan ketinggian Matahari dari bidang galaksi bisa dilakukan. Modul `vaex` dalam bahasa pemrograman Python digunakan untuk dilakukannya analisis data Gaia DR2 di jangkauan 4 kpc.

B. Tujuan

Tujuan dari tugas ini adalah menentukan profil kerapatan piringan galaksi dan ketinggian Matahari dari bidang galaksi

C. Metode

Kerapatan piringan galaksi Bimasakti dianalisis menggunakan data Gaia DR2 yang didapat dari https://s.id/Data_Fisgal. Data yang dipakai yaitu `ngp_sgp_4kpc.hdf5` dengan jangkauan 4 kpc yang berukuran sekitar 660 MB.

D. Langkah Kerja dan Pengolahan Data

1. Pada data pengamatan Gaia DR2, menunjukkan hasil terdapat banyak objek dengan paralaks negatif. Hal ini terjadi dikarenakan pada saat data yang diolah oleh Gaia tidak dapat digunakan secara langsung untuk menurunkan parameter fisis lain. Untuk mempermudah pada praktikum ini, akan dipilih Bintang dengan ketentuan $p > 0$ dan $p > 10$ saja. Selain itu akan dipastikan bahwa bintang yang terpilih tidak memiliki data magnitude yang kosong atau null.

```
dfppos = df[(df.parallax>0)&(df.parallax_over_error>10)&
            (df.phot_g_mean_mag and df.phot_bp_mean_mag and df.bp_rp
             and df.j_m and df.h_m and df.k_m != np.nan)]
```

2. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan jarak bintang yang didapatkan dari data paralaks pengamatan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$d = \frac{1}{p(")} = \frac{1000}{p(mas)}$$

Tidak lupa juga, akan dihitung ketelitian jarak yang telah didapatkan dari perumusan diatas.

```
sigma_p = dfppos.parallax/dfppos.parallax_over_error
d=1000/dfppos.parallax
d_error = (((-1000/(dfppos.parallax**2))**2)*((sigma_p**2))**0.5
```

Untuk mempermudah pada tahap selanjutnya, nilai jarak dan ketelitiannya akan dimasukkan ke dalam satu kolom data.

```
dfppos['parallax_error'] = sigma_p
dfppos['distance'] = d
dfppos['distance_error'] = d_error
```

3. Setelah mengukur jarak, tahap selanjutnya akan dibuat grafik histogram terkait distribusi jarak bintang terhadap nilai fluks bintang.

```
df.plot1d(df.d)
plt.xlabel('d (kpc)')
plt.ylabel('count')
plt.tight_layout()
```

4. Selanjutnya akan dibuat plot diagram warna-magnitudo dengan terlebih dahulu melakukan perhitungan magnitude mutlak M_g dan M_j .

```
M_g = dfppos.phot_g_mean_mag+5-5*np.log10(dfppos.distance)
M_j = dfppos.j_m+5-5*np.log10(dfppos.distance)
```

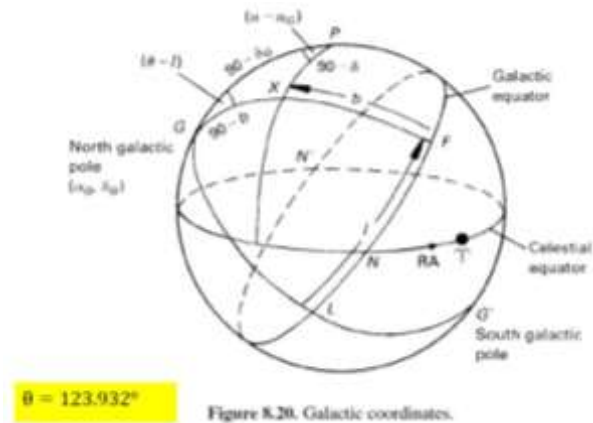
Untuk mempermudah pada tahap selanjutnya, nilai M_g dan M_j akan dimasukkan ke dalam satu kolom data.

```
dfppos['M_g'] = M_g
dfppos['M_j'] = M_j
```

5. Selanjutnya, akan dilakukan transformasi koordinat dari ekuatorial menjadi koordinat galaktik. Perhitungan ini akan dihitung berdasarkan jarak dan lintang galaktik yang didapatkan dari transformasi koordinat RA dan Dec. Dalam koordinat ekuatorial, diketahui bahwa posisi pusat galaksi Bimasakti memiliki asensiorekta sebesar 266.4° dan deklinasi sebesar -28.9° , dan posisi kutub utara galaksi Bimasakti memiliki asensiorekta sebesar 192.9° dan deklinasi sebesar 27.1° , serta sudut inklinasi bidang galaksi sebesar 62.87° terhadap ekuator langit.

- Persamaan untuk mencari bujur galaktik
$$\sin b = \sin \delta \sin \delta_G + \cos \delta \cos \delta_G \cos(R_A - R_{AG})$$

$$\cos b = \frac{\sin(RA - RA_G)}{\sin(\theta - l)} \cos \delta$$
- Persamaan untuk mencari lintang galaktik
$$\cos(\theta - l) = \frac{\sin \delta - \sin b \sin \delta_G}{\cos b \cos \delta_G}$$



Gambar 1. Transformasi Koordinat Ekuatorial Ke Koordinat Galaktik

```
ragc = 266.4*np.pi/180
decgc = 28.9*np.pi/180
ra_rad = dfppos.ra*np.pi/180
dec_rad = dfppos.dec*np.pi/180

a = (np.cos(np.pi/2-decgc)*np.cos(np.pi/2-dec_rad))+(np.sin(np.pi/2-decgc)*np.sin(np.pi/2-dec_rad))
b = np.pi/2 - np.arccos(a)
```

6. Setelah melakukan transformasi koordinat, akan dibuat plot grafik histogram distribusi $l(^{\circ})$ dan $b(^{\circ})$.

```
df.plot1d(df.b)
plt.xlabel('b (deg)')
plt.ylabel('count')
plt.tight_layout()
```

```
df.plot1d(df.l)
plt.xlabel('l (deg)')
plt.ylabel('count')
plt.tight_layout()
```

Selanjutnya, akan dibuat plot dua dimensi dari $l(^{\circ})$ dan $b(^{\circ})$.

```
df.plot(df.l,df.b)
plt.xlabel('l (deg)')
plt.ylabel('b (deg)')
plt.tight_layout()
```

7. Selanjutnya akan dihitung ketinggian bintang dari bidang galaksi (z) yang dihitung berdasarkan jarak dan lintang galaktik yang sudah didapatkan dari tahap sebelumnya.

```
z = np.abs(dfppos.distance*np.sin(b))
```

Untuk mempermudah pada tahap selanjutnya, nilai z akan dimasukkan ke dalam satu kolom data.

```
dfppos['z'] = z
```

8. Setelah didapatkan nilai z , selanjutnya z akan dibagi menjadi ke 10 bin. Lalu, selanjutnya akan dihitung jumlah bintang pada setiap bin.

```

bin = 10
binw = (dfppos['z'].max()-dfppos['z'].min())/bin
jml = []
for i in range(bin):
    jmlbtg = dfppos[(dfppos.z>(binw*i)) & (dfppos.z<(binw*(i+1)))].count()
    jml.append(jmlbtg)

jml = np.array(jml)

```

9. Pada tahap ini akan dihitung kerapatan jumlah bintang (ρ) untuk setiap bin z dengan rumus sebagai berikut.

$$\rho(z) = \frac{N(z)}{V(z)}$$

Dengan V adalah volume untuk setiap bin z , dengan catatan bahwa besar dari sudut ruang survey $\Delta\Omega \sim 115^\circ$. Pada tahap ini akan diperlukan volume tiap bin.

```

def dV(x,dx) :
    y=((1.6e7-(x**2))**0.5)*dx
    return(y)
def V(x):
    xt = Vt = 0
    dx = x/1000
    while True :
        Vt = Vt+dV(xt,dx)
        xt = xt+dx
        if xt>= x:
            break
    return (Vt)

```

10. Setelah didapatkan nilai ρ , lalu akan dibuat plot $\ln \rho$ terhadap z . Disini akan dilakukan penyesuaian rentang z agar profil bintang menjadi lebih jelas.
11. Kemudian akan dibuat profil kerapatan piringan galaksi dengan menggunakan rumus berikut.

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{-|z + z_0|}{h}\right)$$

Dengan diketahui bahwa z_0 adalah ketinggian matahari dari bidang galaksi, ρ_0 merupakan kerapatan pada $z + z_0 = 0$, dan h adalah tinggi skala piringan galaksi. Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan ketinggian matahari dari bidang galaksi, tinggi skala piringan galaksi, serta kerapatan pada ketinggian nol dari bidang galaksi.

12. Pada tahap ini akan dilakukan analisis perbandingan data bintang yang akan dibagi ke dua kategori berdasarkan warnanya yaitu $G_{BP} - G_{RP} < 1$ dan $G_{BP} - G_{RP} > 1$. Setelah itu akan dibuat plot kerapatan terhadap ketinggian seperti tahap sebelumnya.
13. Sama seperti tahap sebelumnya akan dibuat plot kerapatan namun untuk spektrum bintang yang berbeda-beda. Berikut pembagian kelas spektrum bintang.

Tabel 1. Pembagian Kelas Spektrum Bintang

Kelas Spektrum	Rentang warna J-K
A	$0.04 < J - K < 0.121$
F	$0.143 < J - K < 0.300$
G	$0.329 < J - K < 0.452$
K	$0.378 < J - K < 0.669$

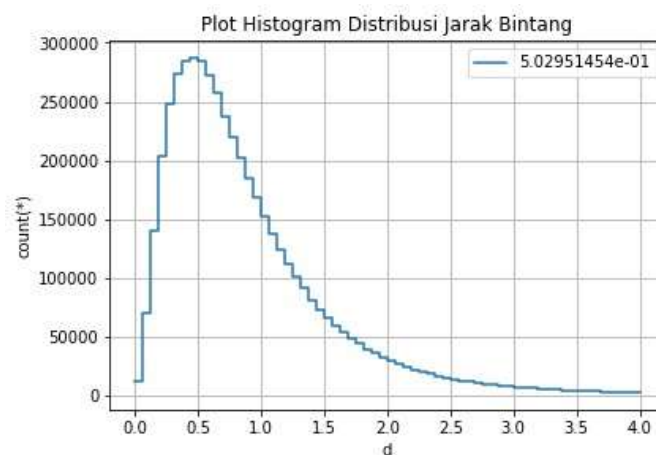
E. Hasil dan Analisis Data

Berikut merupakan hasil pengukuran jarak bintang dari Matahari. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pengukuran dari beberapa bintang.

```
In [98]: d
Out[98]: Expression = (1 / parallax)
Length: 4,946,340 dtype: float64 (expression)
.....
0 0.785097
1 0.273001
2 0.413046
3 0.373502
4 0.548928
...
4846344 0.665226
4846345 2.5113
4846346 0.235167
4846347 0.793014
4846348 0.598113
```

Gambar 2. Hasil Pengukuran jarak beberapa bintang dari Matahari

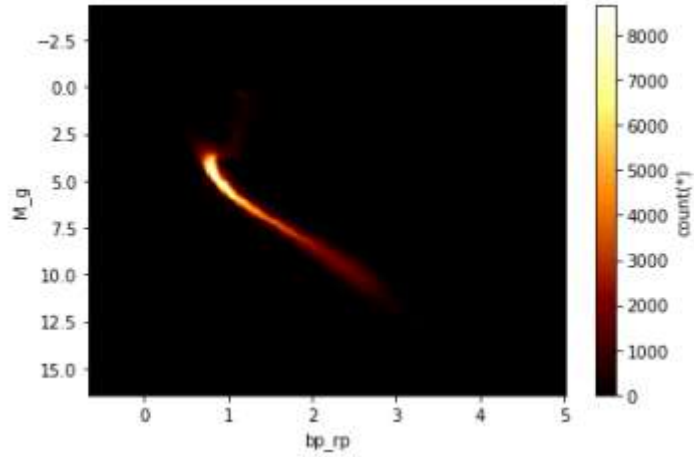
Berikut merupakan visualisasi hasil perhitungan jarak bintang yaitu berupa grafik histogram distribusi jarak bintang yang didapatkan dari data pengamatan Gaia DR2.



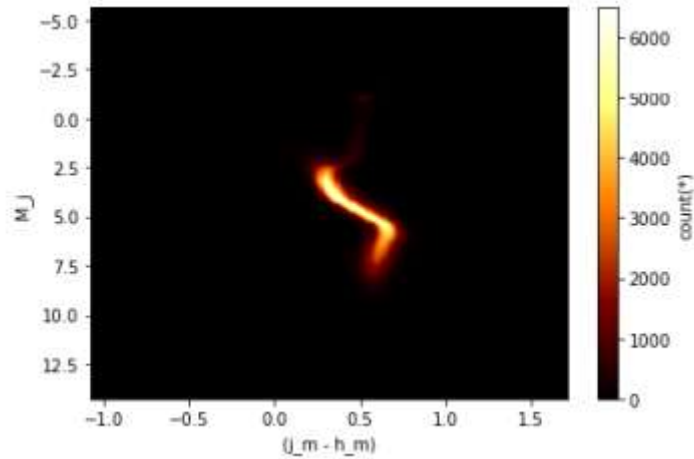
Gambar 3. Grafik histogram distribusi jarak bintang

Gambar di atas menunjukkan bahwa jumlah bintang paling banyak berada di sekitar 0,5 kpc yang diukur dari Matahari. Terlihat bahwa, pada rentang jarak 0 – 0,5 kpc dari Matahari jumlah bintang bertambah banyak seiring pertambahan jarak. Akan tetapi, ketika bintang yang memiliki jarak $> 0,5$ kpc dari Matahari tersebut, mulai menunjukkan bahwa jumlah bintang di galaksi mengalami penurunan. Maka dari itu, dapat diambil kesimpulan bahwa daerah di sekitar 0,5 kpc dari Matahari memiliki jumlah bintang yang sangat besar.

Berikut merupakan data plot diagram warna magnitude saat melakukan perhitungan magnitudo mutlak M_g dan M_j .



Gambar 4. Plot diagram warna $G_{BP} - G_{RP}$ terhadap M_g



Gambar 5. Plot diagram warna $M_j - M_h$

Diagram warna magnitudo adalah salah satu variasi dari Diagram HR. Jika diagram HR adalah grafik temperatur terhadap magnitudo bintang secara individu, diagram warna-magnitudo dibuat untuk mempelajari gugus bintang. Gambar 4 merupakan grafik distribusi magnitudo bintang di daerah cakupan 4 kpc untuk daerah panjang gelombang tampak pita G (Green). Grafik tersebut terlihat mirip dengan distribusi bintang saat fase deret utama di diagram HR serta beberapa bintang pada fase evolusi raksasa merah yang ditunjukkan di daerah $0 < bp_rp < 1$ dan $M_g_abs < 4$. Dari sekian bintang pada fase deret utama di diagram tersebut, bisa diambil kesimpulan bahwa usia populasi bintang pada cakupan 4 kpc relatif muda (bintang populasi I jumlahnya dominan). Selain itu adanya perbedaan metalisitas yang ditunjukkan oleh lebar pada komponen deret utama pada diagram tersebut.

Gambar 5 merupakan grafik distribusi magnitudo bintang di daerah cakupan 4 kpc untuk daerah panjang gelombang inframerah dekat J. Gambar 4 dan 5 menunjukkan adanya beberapa perbedaan. Pertama, komponen deret utama pada gambar 5 lebih pendek daripada gambar 4. Bintang dengan magnitudo rendah (seperti bintang kelas spektrum O dan B) terlihat lebih sedikit terdeteksi di daerah panjang gelombang

inframerah dekat. Penyebab hal ini adalah materi antar bintang. Materi antar bintang bisa menyebabkan adanya efek pemerahan dan hamburan untuk foton dengan panjang gelombang pendek. Bintang kelas O dan B mempunyai foton dengan intensitas maksimum untuk panjang gelombang pendek dan intensitas minimum untuk panjang gelombang yang panjang (mirip dengan daerah panjang gelombang inframerah). Bintang pada kelas spektrum ini bisa terdeteksi sebagai bintang kelas spektrum yang lebih rendah akibat efek pemerahan atau sama sekali tidak terdeteksi akibat efek hamburan. Kedua, perbedaannya adalah jumlah bintang pada tahap evolusi katai putih dan raksasa merah di gambar 5 lebih banyak daripada gambar 4. Pada panjang gelombang inframerah, radiasi foton yang dipancarkan oleh bintang katai putih dan raksasa merah intensitasnya lebih tinggi daripada bintang deret utama. Sehingga bintang dengan tipe tersebut lebih mudah terdeteksi (semakin banyak jumlahnya) pada daerah panjang gelombang inframerah.

Berikut merupakan hasil pengukuran koordinat galaktik bintang. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pengukuran dari beberapa bintang.

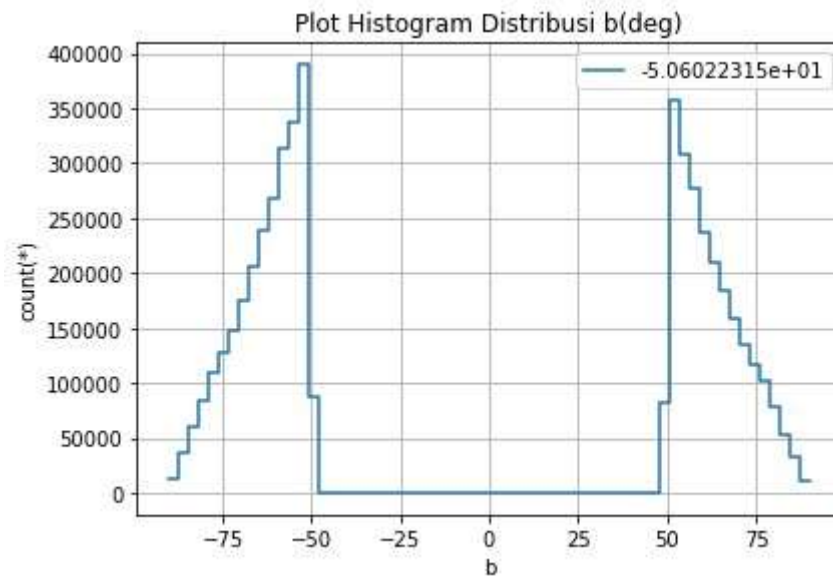


Gambar 6. Hasil pengukuran bujur galaktik beberapa bintang

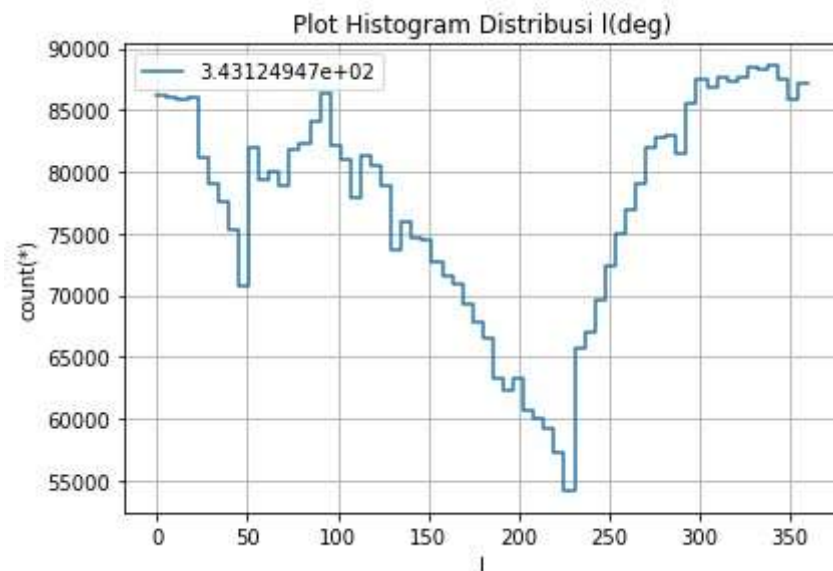


Gambar 7. Hasil pengukuran lintang galaktik beberapa bintang

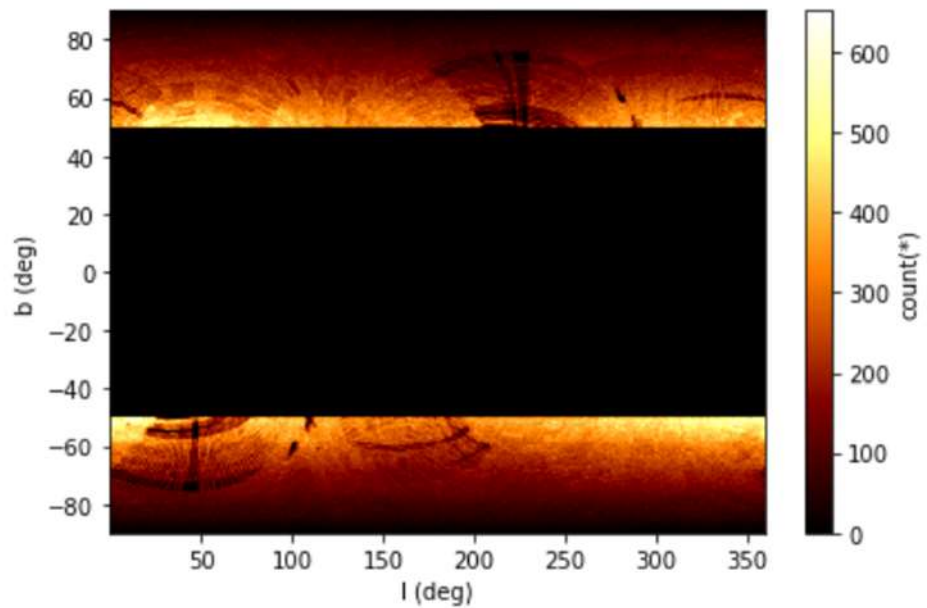
Berikut merupakan visualisasi plot data lintang dan bujur galaktik yang dihasilkan setelah dilakukan transformasi koordinat dari ekuatorial ke koordinat galaktik.



Gambar 8. Grafik Distribusi jumlah bintang terhadap posisi lintang galaktik



Gambar 9. Grafik Distribusi jumlah bintang terhadap posisi bujur galaktik



Gambar 10. Visualisasi distribusi bintang dalam koordinat galaktik

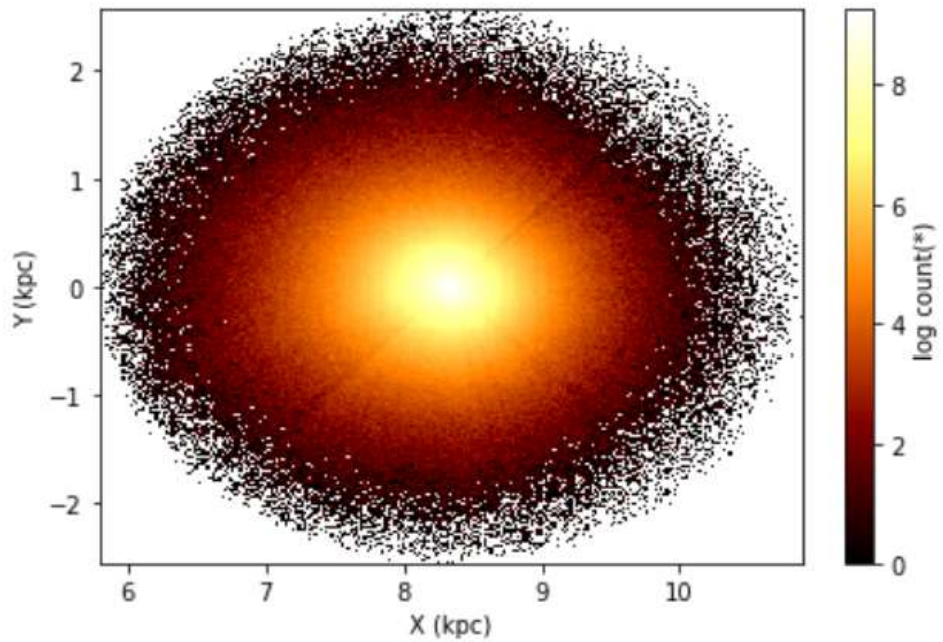
Pada gambar 8, terlihat bahwa jumlah bintang paling banyak berada di sekitar lintang $|b| = 55^\circ$, kemudian jumlahnya menurun ketika lintang $|b|$ bertambah. Jumlah bintang bernilai nol atau tidak ada bintang seperti yang ditunjukkan pada gambar yang terletak di daerah $|b| < 50$, hal ini dikarenakan data yang diambil adalah data pengukuran yang berisikan sekitar 4,9 juta bintang pada daerah kerucut $|b| > 50$. Gambar 9 menunjukkan bahwa bintang paling sedikit berada di sekitar bujur $l = 225^\circ$ sedangkan paling sedikit di sekitar bujur 325° . Distribusi bintang terhadap posisi bujur terlihat tidak seragam. Kemudian pada gambar 10 terlihat bahwa distribusi bintang juga tidak merata. Warna gelap pada grafik menunjukkan bahwa daerah tersebut tidak dilakukan pengamatan atau tidak adanya bintang di daerah tersebut. Sedangkan semakin terang warnanya maka jumlah bintang semakin banyak. Dari gambar 10 memperlihatkan bahwa apabila di grafik semakin terang, maka bintang tersebut akan semakin dekat ke pusat galaksi. Hal ini disebabkan pada pusat galaksi terdapat banyak bintang.

Berikut merupakan hasil pengukuran ketinggian bintang dari bidang galaksi (z). Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pengukuran dari beberapa bintang.

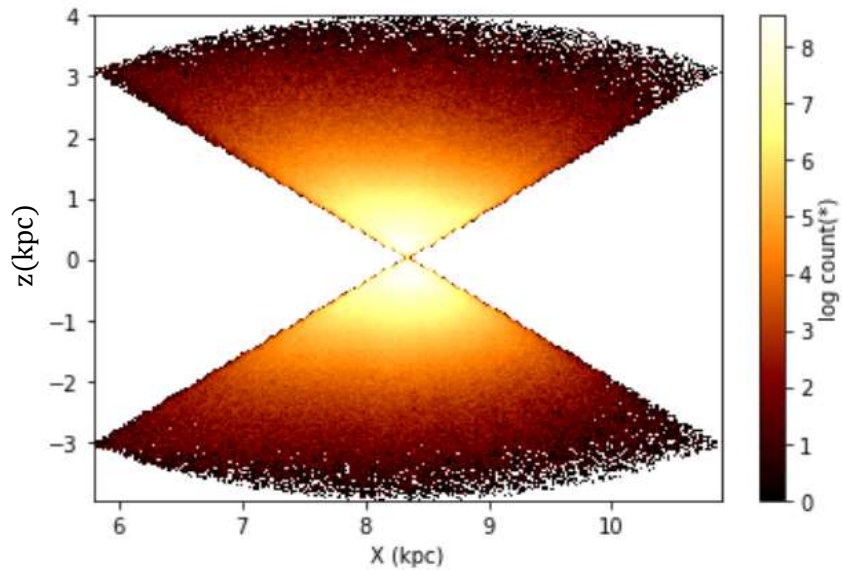
0	0.635638
1	0.24097
2	0.349169
3	0.317744
4	0.451178
...	
4946244	-0.482932
4946245	-1.89816
4946246	-0.153172
4946247	-0.579719
4946248	-0.430016

Gambar 11. Hasil pengukuran ketinggian beberapa bintang dari bidang galaksi (z)

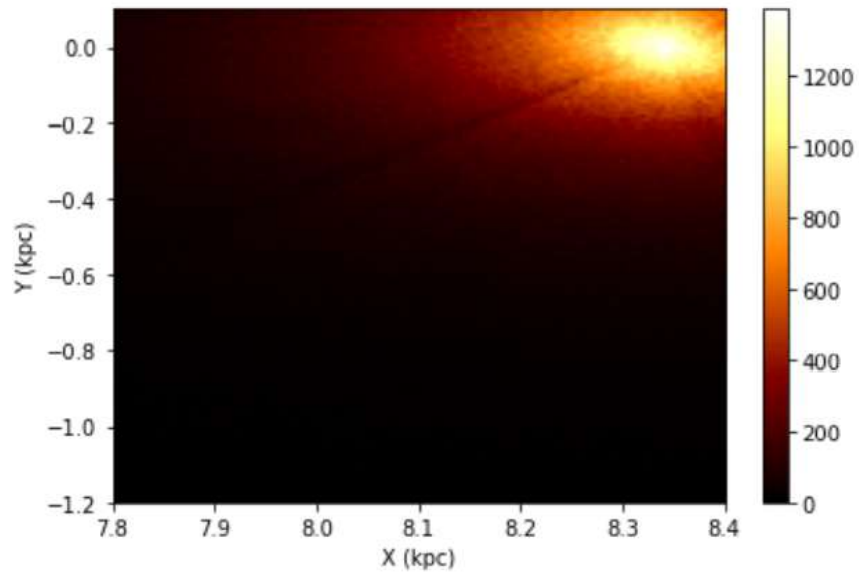
Selain mengukur ketinggian bintang, pada praktikum kali ini juga dilakukan pengukuran jarak bintang para arah x serta y dari galaktosentrik atau pusat galaksi. Berikut hasil pengukurannya.



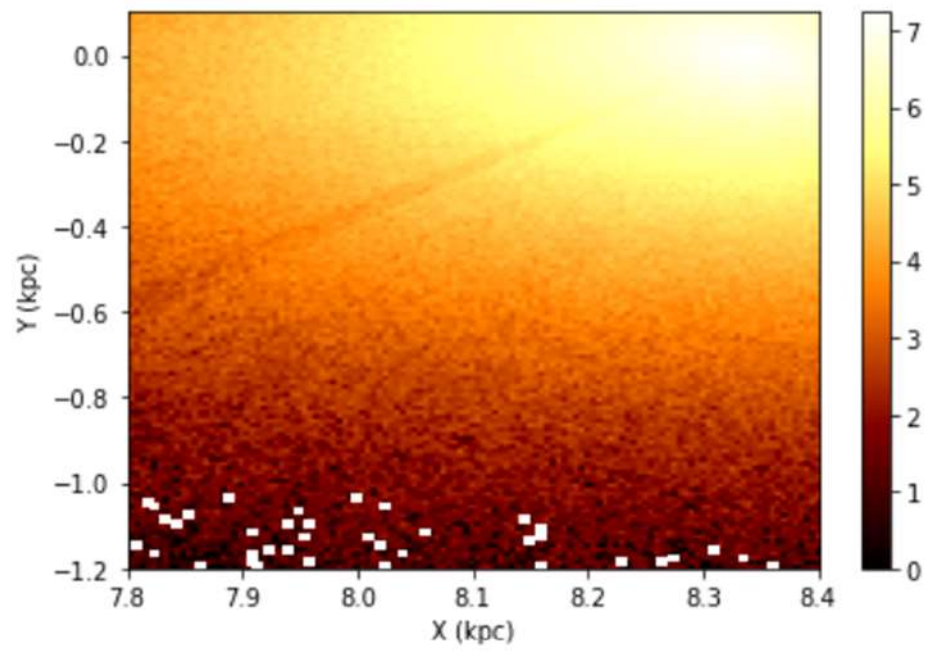
Gambar 12. Distribusi bintang pada arah x dan y dari galaktosentrik



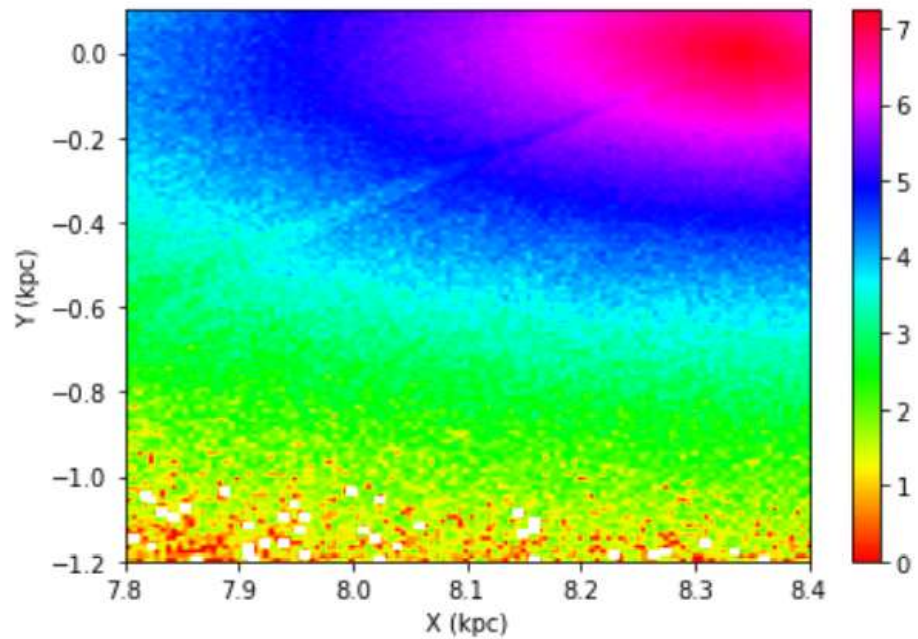
Gambar 13. Distribusi bintang pada arah x dan z dari galaktosentrik



Gambar 14.

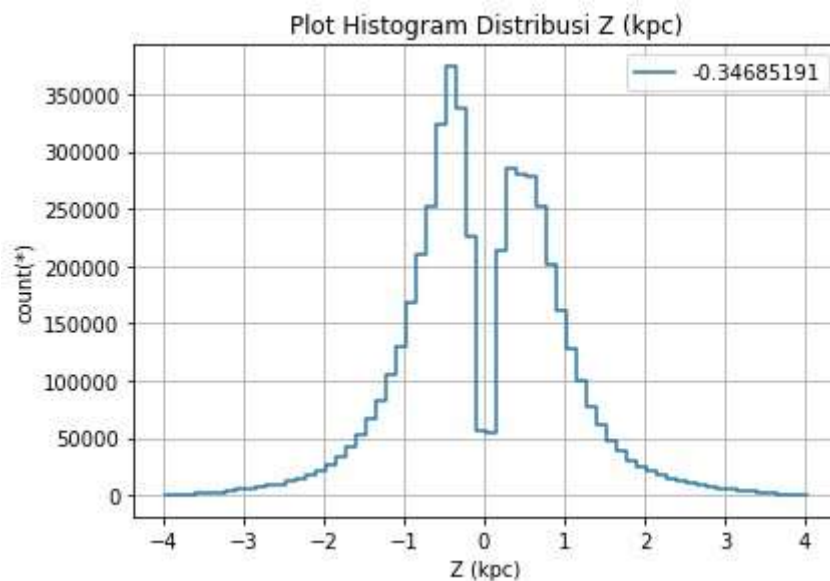


Gambar 15.



Gambar 16.

Gambar 12-16 menunjukkan bahwa semakin menuju pusat galaksi, yaitu X sekitar 8,4 kpc dan Y=0 dari Matahari, jumlah bintang semakin banyak. Hal ini sesuai dengan penjelasan sebelumnya untuk gambar 10.



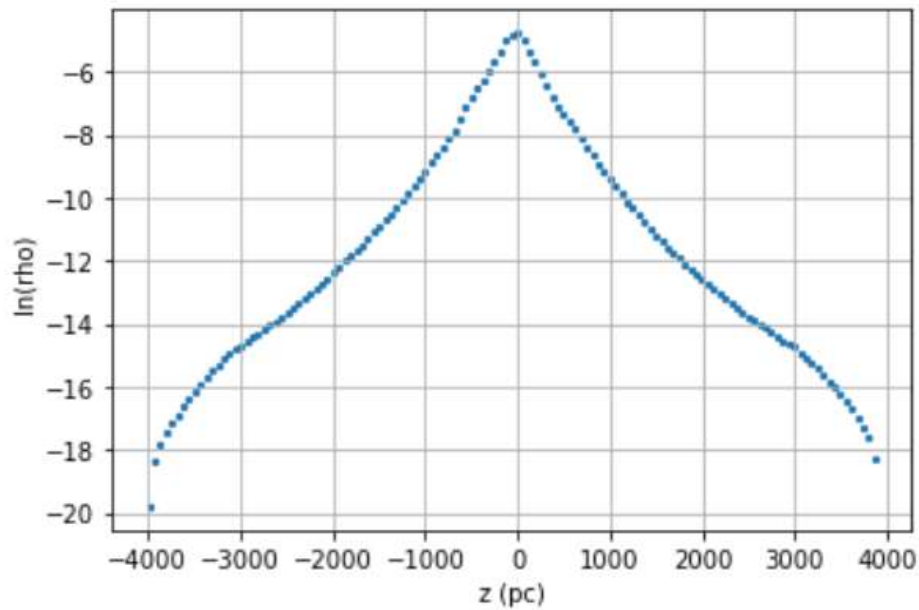
Gambar 17. Grafik histogram jumlah bintang pada rentang ketinggian 4 Kpc.

Pada gambar diatas menunjukan struktur piringan (*disk*) pada Galaksi Bimasakti. Titik ketinggian nol didapatkan dari nilai modulus pada grafik histogram yang berada pada nilai $z = -0,5$ kpc. Ini menunjukkan bahwa Matahari berada di atas piringan galaksi sejauh 0,5 kpc.

[31	129	214	298	386	472	618	764	886	1122
	1311	1541	1727	2085	2350	2662	2874	3050	3435	3513
	3899	4307	4663	5029	5657	6065	6691	7464	8306	8911
	10131	11303	12623	14082	16022	17571	19938	21811	24871	27587
	31394	34803	38868	43473	49681	54866	61231	69052	78512	89118
	100002	110128	119752	131704	150940	172832	186347	187767	178253	159989
	132717	93616	47759	8175	8108	45607	89360	123840	141149	143549
	141233	139063	139288	138179	132034	119395	106475	94654	85030	76029
	68238	60482	53353	46627	41386	36612	32336	28916	25337	22626
	20342	18318	16218	14631	13385	12170	10973	9895	9121	8234
	7460	6875	6238	5780	5238	4785	4420	4226	3780	3414
	3198	3069	2910	2402	2215	1883	1691	1429	1181	1066
	861	712	586	464	354	259	133	47]		

Gambar 18. Hasil Perhitungan Jumlah Bintang Untuk Setiap Bin z

Dari bagian langkah kerja dan pengolahan data nomor 8 didapat nilai jumlah bintang untuk setiap bin z seperti gambar di atas. Jumlah ini sesuai dengan histogram pada gambar 17.



Gambar 19. Kerapatan bintang terhadap ketinggian untuk setiap bin z

Untuk menganalisis profil kerapatan piringan galaksi dapat dilihat pada gambar 19. Pada gambar 19, terlihat bahwa hubungan antara $\ln \rho$ dan ketinggian (z) yaitu linear serta gradien garis tersebut bernilai negatif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa di dekat bidang galaksi memiliki banyak bintang. Semakin jauh dari bidang galaksi atau dapat dibayangkan semakin besar nilai z , kerapatan akan menurun secara eksponensial atau $\ln \rho$ menurun secara linier.

Berikut perumusan profil kerapatan piringan galaksi.

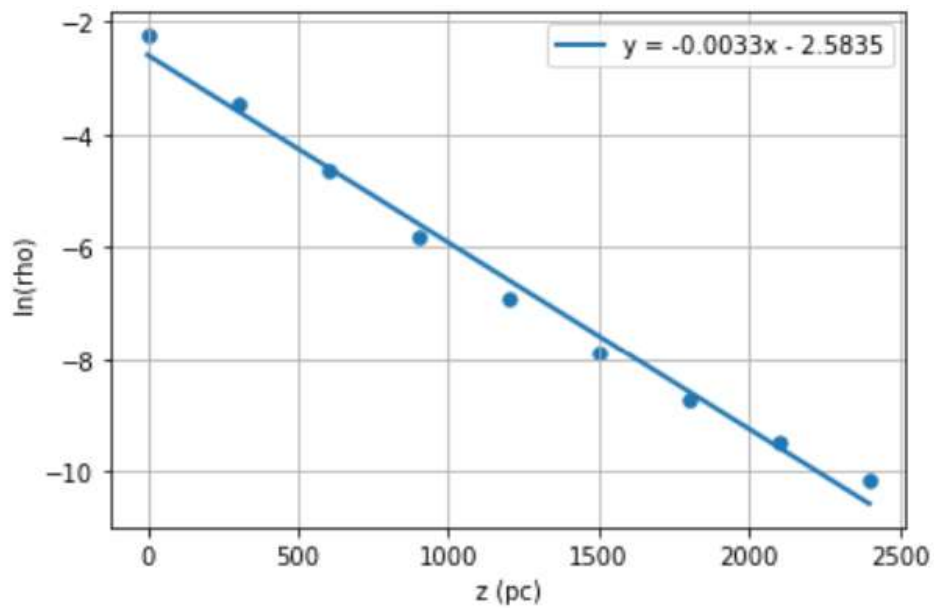
$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{-|z + z_0|}{h}\right) \dots (1)$$

Dengan z_0 adalah ketinggian Matahari dari bidang galaksi, ρ_0 adalah kerapatan pada $z + z_0 = 0$ dan h adalah tinggi skala piringan. Persamaan ini serupa dengan

$$\ln \rho = -\frac{|z + z_0|}{h} + \ln \rho \dots (2)$$

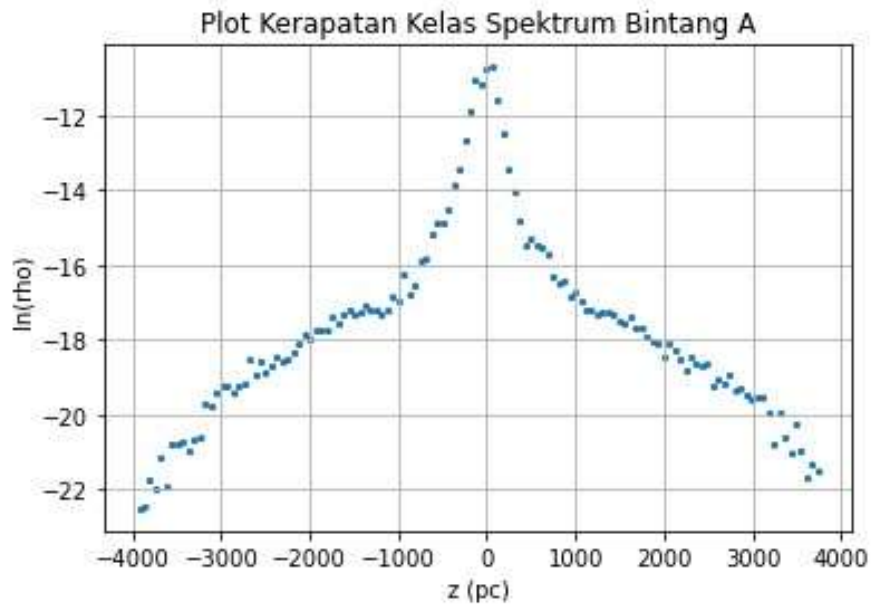
Yang merupakan persamaan garis lurus $y = mx + c$.

Untuk mengetahui persamaan garis lurus yang dimiliki pada hubungan $\ln \rho$ dan z akan dilakukan regresi linear. Berikut hasil regresi yang didapatkan ditunjukkan pada gambar 20.

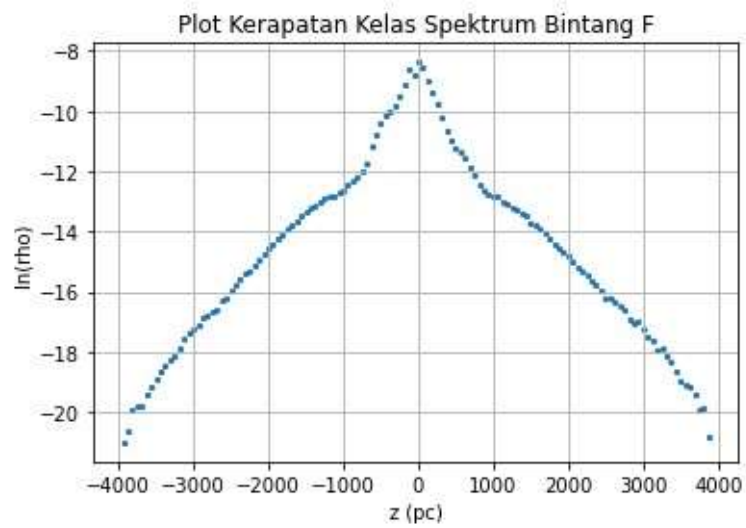


Gambar 20. Regresi linear plot $\ln \rho$ terhadap ketinggian dari bidang galaksi (z)

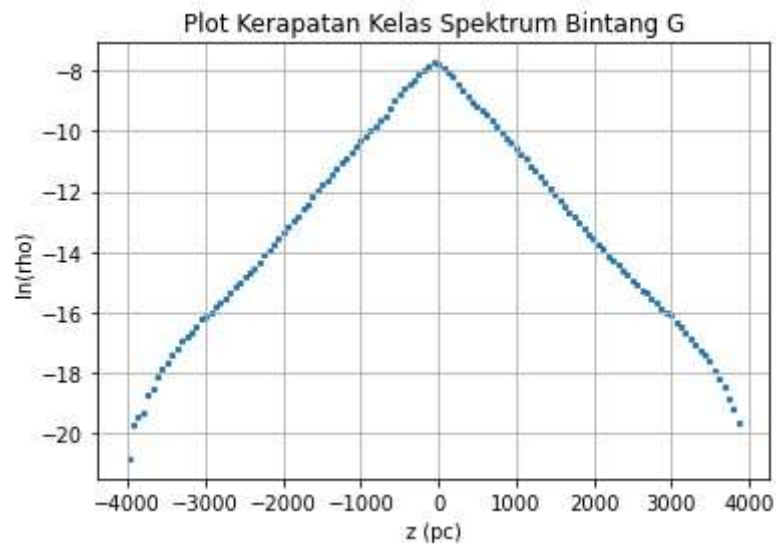
Pada gambar 20, terlihat bahwa persamaan garis regresi linier yang di dapatkan adalah $y = -0,0033x - 2,5835$, dan jika disesuaikan dengan persamaan (2) atau $y = \ln \rho$, maka didapatkan $\ln \rho_0 = 2,5835$ dan $1/h = |-0,0033|$. Maka dari itu, nilai skala tinggi piringan galaksi, yaitu $h = 1/(-0,0033) = 300.0401$ pc, dan untuk besar ketinggian Matahari dari bidang galaksi yaitu $z_0 = 43.213$ pc, dan untuk kerapatan pada ketinggian nol dari bidang galaksi yaitu $\rho_0 = e^{-2.5835} = 0.0755$ bintang/pc³.



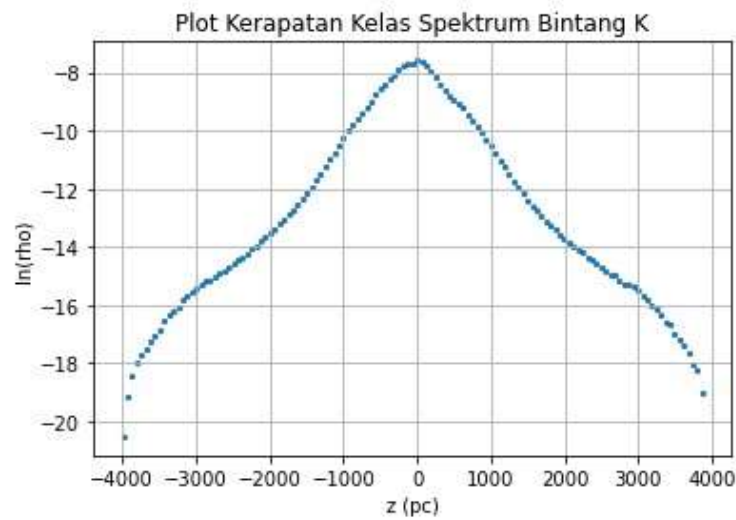
Gambar 21. Plot kerapatan bintang kelas spektrum a



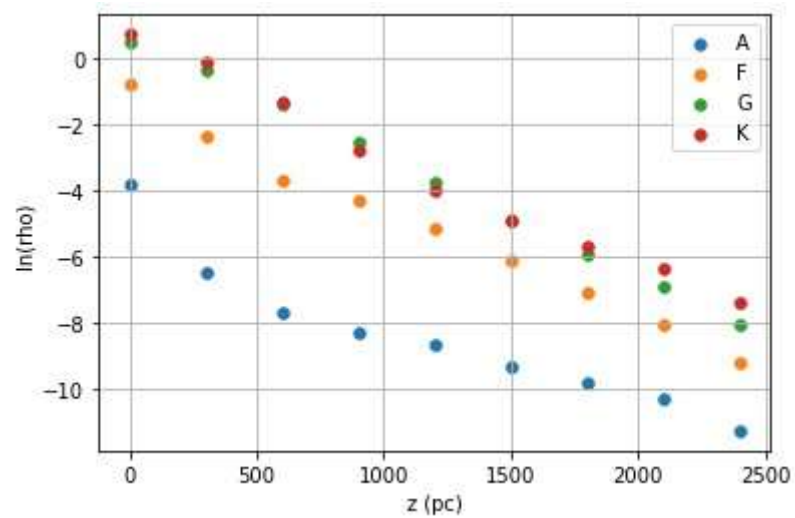
Gambar 22. Plot kerapatan bintang kelas spektrum f



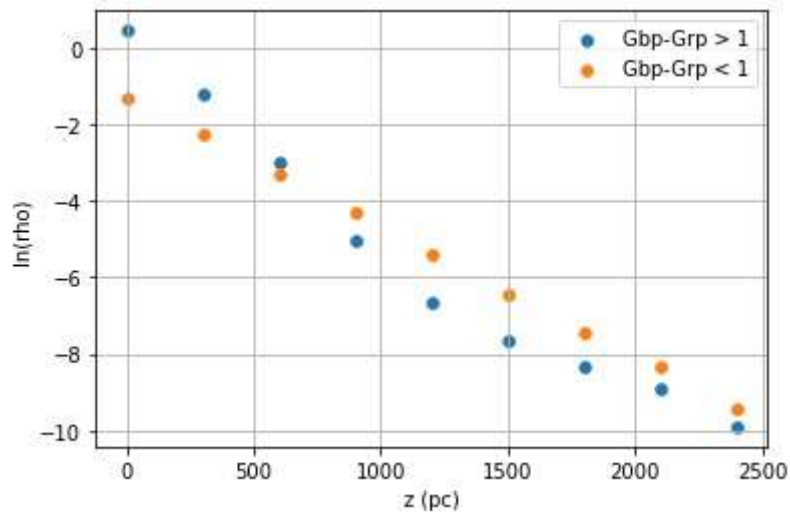
Gambar 23. Plot kerapatan bintang kelas spektrum g



Gambar 24. Plot kerapatan bintang kelas spektrum k



Gambar 25. Plot kerapatan terhadap jarak untuk setiap kelas spektrum bintang



Gambar 26. Diagram warna M_G terhadap $G_{BP} - G_{BR}$ dengan pemisahan warna

Pada gambar 26 menunjukkan bahwa $B - R > 1$ merupakan bintang dengan temperatur lebih rendah dan $B - R < 1$ adalah bintang dengan temperatur yang lebih tinggi. Pada nilai $z < \sim 500$ pc, $B - R > 1$ memiliki lebih banyak bintang dibandingkan dengan $B - R < 1$. Kemudian, pada nilai z diantara 500 – 1250 pc, yang memiliki jumlah bintang lebih banyak adalah $B - R < 1$ dibandingkan $B - R > 1$. Dan pada $z > 1250$ pc, $B - R > 1$ memiliki jumlah bintang yang lebih dominan. Bintang dengan $B - V > 1$ merupakan bintang-bintang yang memiliki kelas spektrum G, K, dan M, sedangkan bintang dengan $B - V < 1$ merupakan bintang-bintang dengan kelas spektrum O, B, A, dan F. Pada skala tinggi 0 – 500 pc, yaitu piringan tipis, terlihat bahwa bintang dengan kelas spektrum G, K, dan M memiliki jumlah yang lebih banyak daripada bintang dengan kelas spektrum O, B, A, dan F. Kemudian pada skala tinggi, yaitu pada rentang z antara 500-1250 pc, tepatnya di antara piringan tipis dan piringan tebal, bintang dengan kelas spektrum O, B, A dan F memiliki jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan bintang berkelas spektrum G, K, dan M. Lalu, pada skala yang lebih tinggi lagi, tepatnya pada > 1250 pc, pada daerah halo galaksi, bintang kelas G, K, dan M atau bintang bertemperatur rendah memiliki jumlah yang lebih dominan. Untuk bintang kelas G, K, dan M mempunyai temperatur yang rendah dan redup, menyerupai bintang populasi II akan tetapi memiliki perbedaan di metalisitasnya.

Untuk warna bintang yang berbeda, tentunya akan memiliki profil kerapatan piringan galaksi yang berbeda pula. Kelas spektrum ditandai dari warna sebuah bintang. Maka, warna terhadap ketinggian galaksi akan berbeda serta memiliki nilai yang berbeda pula pada profil distribusi kerapatan bintang di suatu kelas spektrum.

Umumnya, bintang kelas spektrum A mempunyai jumlah yang lebih sedikit dibandingkan bintang berkelas spektrum F, G, dan K. Pada bintang kelas spektrum A, F, G dan K, semua profil kerapatan menurun seiring penambahan skala tinggi. Pada tiap kelas terlihat bahwa pada gambar 25 memiliki nilai gradien penurunan $\ln \rho$ yang

berbeda-beda untuk tiap kelas spektrum. Untuk bintang kelas F dan G mempunyai gradien penurunan $\ln \rho$ terhadap skala tinggi yang hamper serupa, lalu untuk kelas K memiliki gradien penurunan $\ln \rho$ terhadap skala tinggi yang lebih besar dibandingkan dengan bintang berkelas spektrum F dan G, serta gradien penurunan $\ln \rho$ terhadap skala tinggi kelas A memiliki nilai yang lebih kecil daripada bintang kelas F dan G.

Pada skala tinggi 0-500 pc, kerapatan bintang kelas F, G dan K memiliki nilai yang hampir serupa yaitu pada rentang antara $e^2 - e^{-2}$. Untuk nilai kerapatan bintang kelas A memiliki kerapatan yang cukup rendah, yaitu sekitar $e^8 - e^{-8}$. Untuk bintang yang memiliki skala tinggi, yaitu > 500 pc, penurunan kerapatan bintang kelas K lebih cepat bila dibandingkan dengan kelas F dan G, sedangkan penurunan kerapatan bintang kelas A lebih lambat dibandingkan dengan kelas F dan G. Interpretasi dari gambar 25, bintang pada skala tinggi < 500 pc, yaitu bintang kelas F, G, dan K mendominasi di piringan galaksi dan bintang A teramati paling sedikit jumlahnya. Sedangkan pada skala tinggi yang lebih besar lagi, kerapatan bintang menurun, akan tetapi kerapatan bintang kelas F dan G masih lebih besar dibandingkan dengan kelas K dan A.

F. Kesimpulan

Kerapatan bintang menurun dengan bertambahnya skala jarak mengikuti persamaan profil kerapatan piringan galaksi :

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{-|z + z_0|}{h}\right)$$

Berdasarkan praktikum ini, didapatkan bahwa nilai ketinggian matahari dari bidang galaksi adalah sebesar 43.213 pc

DAFTAR PUSTAKA

Binney, J., Merrifield M. 1998. Galactic Astronomy. Princeton, NJ : Princeton University Press

Materi Kuliah AS3202 Fisika Galaksi, tahun 2022, oleh M. Ikbal Arifyanto