

Persamaan Fluks Energi Bintang yang Non-Homogen dan Anisotrop dengan Penghantaran Energi Melalui Radiasi

Luk Luk Firdausiyah* dan Atsnaita Yasrina

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5, Malang, 65145, Indonesia.

*Email: lukfirda427@gmail.com

Abstrak

Struktur bintang ditentukan oleh lima konsep fisis, salah satunya adalah penghantaran energi. Energi di bintang dihantarkan dengan cara radiasi dan konveksi. Penghantaran energi dengan radiasi dirumuskan dalam gradien temperatur. Dibutuhkan perumusan untuk gradien temperatur yang menunjukkan secara langsung tentang penghantaran energi radiasi. Perumusan gradien temperatur membutuhkan persamaan fluks energi bintang. Dalam perumusan fluks energi ini, bintang diasumsikan memiliki massa yang rendah, memiliki kerapatan yang bergantung pada jarak dan sudut polar (non-homogen dan anisotrop). Persamaan fluks bintang yang diperoleh bergantung pada jarak dan sudut polar.

Kata Kunci: fluks energi, radiasi, non-homogen, anisotrop.

1. Pendahuluan

Alam semesta merupakan dimensi yang sangat luas bagi manusia sebagai pengamat. Menjadikan tolok ukur batas kemampuan akal dan teknologi, sehingga menjadi cerminan dari dahulu, saat ini hingga masa depan [2]. Pengamatan terhadap Matahari memberikan informasi tentang fenomena bintang-bintang yang lain. Dari fenomena bintang yang memancarkan sinar dan energi setiap harinya, manusia dapat mengukur massa, suhu, jarak, radius, luminositas dan susunan kimianya. Keberadaan bintang pun dapat diketahui umurnya, apakah baru lahir, masih muda, sudah tua, atau mati. Pengamatan pada bintang memberikan deskripsi tentang evolusi bintang [3].

Bintang terbentuk setelah ada peristiwa keruntuhan gravitasi dari sebuah awan hidrogen antar bintang. Kejadian tersebut merupakan peristiwa evolusi bintang [8]. Dalam teori evolusi bintang, dapat diketahui model bintang, mekanisme pembentukan bintang, struktur bintang, dan cara bintang tersebut hidup dengan tetap memancarkan energi, hingga energinya habis, dan kemudian mati [4]. Selain itu juga dapat mengetahui struktur bintang yang ditentukan oleh lima konsep yaitu, produksi energi di bintang, kesetimbangan panas, kekedapan, pemindahan atau penghantaran tenaga, dan keseimbangan hidrostatik.

Salah satu teori yang sangat penting yaitu teori struktur bintang. Mengenai teori struktur bintang dapat diketahui kondisi keseimbangan energi bintang, keadaan fisis gas dalam bintang, model bintang, dan sumber energi bintang. Pada kondisi keseimbangan bintang terdapat keseimbangan hidrostatik, distribusi massa, produksi energi, gradien suhu dan kondisi batas sumber energi, massa dalam jari-jari, suhu dan tekanan di permukaan bintang [7]. Oleh karena itu bintang menghasilkan penghantaran energi baik secara konveksi atau radiasi. Persamaan struktur bintang dijelaskan dengan mengibaratkan bintang dengan sebuah bola. Bola yang memiliki volume, massa, pusat inti dan jari-jari [6].

Bintang merupakan benda langit yang memiliki struktur. Salah satu struktur bintang adalah kesetimbangan energi. Energi di bintang dihantarkan dengan cara radiasi dan konveksi. Penghantaran secara radiasi adalah pemindahan tenaga dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Ketika radiasi, foton dipancarkan dalam bagian terpanas bintang yang diserap bagian terdingin, yang mana terasa panas.

Dalam penelitian ini penghantaran energi dengan radiasi dirumuskan dalam gradien temperatur (∇_{rad}) yang dalam persamaan tersebut mengandung persamaan diferensial parsial. Dibutuhkan perumusan ∇_{rad} yang menunjukkan secara langsung tentang penghantaran energi radiasi. Perumusan ∇_{rad} membutuhkan persamaan fluks energi bintang.

2. Metode Penelitian

Dalam kondisi keseimbangan radiatif pancaran melewati suatu medium (elemen massa) sebagai contoh berbentuk silinder, maka intensitas radiasi tersebut akan berkurang karena adanya penyerapan dan elemen massa tersebut memiliki intensitas. Intensitas dari emisi radiasi permukaan benda hitam hanya bergantung pada suhu. Oleh karena itu diperlukan metode penelitian sebagai berikut.

2.1. Mendefinisikan gradien suhu pada keadaan radiative transport

Persamaan gradien suhu merupakan awal dari perumusan untuk mencapai kesetimbangan radiatif. Karena intensitas energi pada emisi permukaan bergantung pada suhu. Sehingga peran gradien suhu sangat diperlukan untuk mencapai perumusan persamaan akhir keseimbangan radiatif.

2.2. Mendefinisikan persamaan radiative transport

Persamaan gradien suhu yang telah diperoleh dilanjutkan pada persamaan *transport* radiasi. Pada persamaan ini diperoleh dari hasil pengurangan radiasi yang hilang dari atas dan radiasi masuk. Kemudian menempatkan persamaan ini ke dalam bentuk yang sederhana yaitu dengan diubah dan diturunkan menggunakan turunan parsial.

2.3. Mendefinisikan persamaan fluks radiasi

Intensitas yang ada pada bintang memicu munculnya fluks. Sehingga dalam fluks radiasi perlu untuk diturunkan menggunakan turunan parsial. Agar setelah diintegrasikan semua sudut yang solid, persamaan fluks radiasi dapat disubstitusikan.

2.4. Mengintegrasikan semua sudut yang solid

Dalam metode ini mengintegrasikan sudut yang solid bertujuan untuk memperoleh hasil dari turunan persamaan fluks radiasi. Dimana untuk fluks radiasi yang berkali-kali dengan persamaan sebelumnya disederhanakan dan diturunkan dalam bentuk parsial kemudian untuk sudut-sudut yang solid diintegrasikan agar diperoleh hasil akhir yang sederhana.

3. Hasil dan Pembahasan

Sesuai dengan metode yang telah dijelaskan [5], diawali dengan persamaan gradien suhu

$$\nabla_{\text{rad}} = \frac{3}{16\pi\alpha cG} \frac{\bar{\kappa}_R L P}{m T^4} \quad (1)$$

dengan κ_R merupakan koefisien absorpsi Rosseland [1], maka

$$\frac{1}{\bar{\kappa}_R} = \frac{\int_0^\infty \frac{1}{\kappa_\nu} \frac{\partial B_\nu}{\partial T} d\nu}{\int_0^\infty \frac{\partial B_\nu}{\partial T} d\nu} \quad (2)$$

Karena terlihat begitu rumit maka diperlukan pemecahan dengan mendefinisikan persamaan radiasi *transport*

$$I(r + dr, \theta + d\theta) - I(r, \theta) = \frac{e\rho d\ell}{4\pi} - I\kappa\rho d\ell \quad (3)$$

Kemudian diubah dalam bentuk parsial

$$\frac{\partial I}{\partial r} dr + \frac{\partial I}{\partial \theta} d\theta = \frac{e\rho d\ell}{4\pi} - I\kappa\rho d\ell \quad (4)$$

dengan

$$dr = d\ell \cos\theta \text{ dan } -d\theta = \frac{d\ell \sin\theta}{r} \quad (5)$$

Persamaan kerapatan bintang non homogen dan anisotrop [1]

$$\rho = \rho_1 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\pi/2} \sin\theta d\theta \int_0^{\sqrt{2\psi}} v^2 dv g \left(\frac{r^2 v^2 \sin^2 \theta}{r_A^2} \right) (e^{\psi - v^2/2} - 1) \quad (6)$$

Setelah diturunkan menjadi

$$\rho = \rho_1 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{r^2}{r_A^2} \sin^2 \theta g e^{\psi} v^3 \frac{1}{5} (\sqrt{2\psi})^5 \quad (7)$$

Kemudian persamaan 5 disubstitusikan ke persamaan 4, menjadi

$$\frac{\partial I}{\partial r} \cos\theta - \frac{\partial I}{\partial \theta} \frac{\sin\theta}{r} + I\kappa\rho - \frac{e\rho}{4\pi} = 0 \quad (8)$$

Persamaan 7 di substitusikan ke persamaan 8

$$\frac{\partial I}{\partial r} \cos\theta - \frac{\partial I}{\partial \theta} \frac{\sin\theta}{r} + I\kappa \left(\rho_1 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{r^2}{r_A^2} \sin^2 \theta g e^{\psi} v^3 \frac{1}{5} (\sqrt{2\psi})^5 \right) - \frac{e\rho}{4\pi} = 0 \quad (9)$$

dengan persamaan fluks energi radiasi

$$F = L/(4\pi r^2) \quad (10)$$

dan persamaan fluks energi radiasi dalam bentuk parsial

$$F(r) \equiv \int_{\Omega} I(r, \theta) \cos\theta d\Omega \quad (11)$$

Selanjutnya mengintegrasikan sudut yang solid

$$\frac{\partial}{\partial r} \int_{\Omega} I \cos\theta d\Omega - \frac{1}{r} \int_{\Omega} \frac{\partial I}{\partial \theta} \sin\theta d\Omega + \kappa\rho_1 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{r^2}{r_A^2} g v^3 \int_{\Omega} \sin^2 \theta e^{\psi} \frac{1}{5} (\sqrt{2\psi})^5 d\Omega - \frac{e\rho}{4\pi} = 0 \quad (12)$$

sehingga diperoleh fluks energi radiasi

$$\int_{\Omega} \frac{\partial I}{\partial \theta} \sin\theta d\Omega = -2F \quad (13)$$

Hasil akhir dari penurunan persamaan fluks energi radiasi

$$\frac{\partial F}{\partial r} + \frac{2F}{r} - \frac{e\rho}{4\pi} = \frac{1}{2}\theta - \frac{1}{4}\sin 2\theta \frac{r^2}{r_A^2} g - 0,057\kappa\rho_1 \sqrt{\frac{2}{\pi}} v^3 (4\pi)^{7/2} e^{\psi} \quad (14)$$

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada persamaan (12) dijelaskan bahwa persamaan fluks energi bintang yang non-homogen dan anisotrop dengan penghantaran energi melalui radiasi memiliki kerapatan yang bergantung pada jarak dan sudut polar. Bintang bermassa rendah adalah gas yang memiliki gravitasi tubuh yang berkembang dengan inti elektron-degenerate (artinya semua kondisi energi permukaan rendah terisi dan dipilih tekanan elektron karenanya didominasi oleh prinsip eksklusi Pauli) setelah meninggalkan fase urutan utama (MS), dan karena telah mengalami "*Helium flash*" pada akhir evolusi mereka pada raksasa merah cabang (RGB). Perhitungan evolusi menunjukkan bahwa ini sesuai dengan massa atas batas $M \approx 2-2,5 M_{\odot}$.

4. Kesimpulan

Bahwa persamaan fluks energi bintang bermassa rendah dengan batas maksimal ukuran $M \approx 2-2,5 M_{\odot}$ yang non-homogen dan anisotrop dengan penghantaran energi melalui radiasi memiliki kerapatan yang bergantung pada jarak dan sudut polar (non-homogen dan anisotrop). Persamaan fluks bintang yang diperoleh bergantung pada jarak dan sudut polar.

Daftar Rujukan

- [1] F. C. Adams, "Theoretical models of young open star clusters: Effects of a gaseous component and gas removal," *The Astrophys. J.*, vol. 542, no. 2, 2000, p. 964.
- [2] A. Atabik, "Konsep penciptaan alam: Studi komparatif-normatif antar agama-agama," *Fikrah*, vol. 3, no. 1, pp. 101–122, 2015.
- [3] L. Aviyanti and J. A. Utama, J.A., "Konsepsi awal mahasiswa fisika terhadap materi bintang dan evolusi bintang dalam perkuliahan astrofisika," *J. Pendidik. Fis. Indones.*, vol. 7, no. 2, 2011.
- [4] R. Beare, M. J. Brown, K. Pimbblet, and E. N. Taylor, "Evolution of the stellar mass function and infrared luminosity function of galaxies since $z= 1.2$," *The Astrophys. J.*, vol. 873, no. 1, 2019, p. 78.
- [5] M. Catelan, "Structure and evolution of low-mass stars: An overview and some open problems," in *AIP Conf. Proc.*, vol. 930, no. 1, 2007, pp. 39–90.
- [6] Y. F. Jiang, M. Cantiello, L. Bildsten, E. Quataert, and O. Blaes, "Local radiation hydrodynamic simulations of massive star envelopes at the iron opacity peak," *The Astrophys. J.*, vol. 813, no. 1, 2015, p. 74.
- [7] H. Karttunen *et al.*, *Fundamental Astronomy Fifth Edition*. Springer: New York, 2006.
- [8] K. Khoiriyah, "Evolusi bintang pada pembentukan tata surya dan sistem keplanetan," *J. Ilmiah Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 5, no. 2, pp. 245–256, 2016.