

## Evolusi Medan Magnet Anisotrop pada Bintang Neutron yang Mengakresi

E. L. Istiqomah<sup>1\*</sup>, A. Yasrina<sup>1</sup>, dan M. F. Rosyid<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kelompok Penelitian Kosmologi, Astrofisika, dan Fisika Matematika (KAM), Jurusan Fisika, FMIPA – UGM,  
Yogyakarta, Indonesia

\*E-mail: elida@mail.ugm.ac.id

### ABSTRAK

Telah dilakukan kajian mengenai evolusi medan magnet anisotropik pada bintang neutron berotasi yang mengalami proses akresi. Persamaan evolusi medan magnet diubah sehingga menghasilkan persamaan yang menunjukkan hubungan antara medan magnet dengan waktu karakteristik difusi Ohmic ( $t_{diff}$ ) dan waktu karakteristik aliran akresi ( $t_{acc}$ ). Jika waktu yang dibutuhkan fluks magnetik internal dari dalam menuju permukaan bintang ( $t_{diff}$ ) lebih besar dari waktu yang dibutuhkan materi akresi menyebar pada permukaannya ( $t_{acc}$ ) maka medan magnet yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan proses akresi menjadi bernilai kecil. Dalam kajian ini digunakan asumsi bahwa materi akresi tidak bersifat magnet sehingga  $\nabla \cdot B = 0$  dan medan magnet bintang neutron bersifat intrinsik (dihasilkan di dalam bintang neutron sendiri).

**Kata Kunci:** Bintang neutron – Akresi – Difusi Ohmic

### 1 PENDAHULUAN

Bintang neutron yang mengalami akresi secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua kelas. *Pertama*, pada bintang neutron bermassa besar atau *High Mass X-ray Binaries* (HMXBs) yang merupakan pulsar sinar-X dengan dipol medan magnet sebesar  $B \sim 10^{12}$  G, cukup besar untuk mengganggu aliran akresi yang menuju bagian kutub bintang neutron. *Kedua*, pada bintang neutron bermassa rendah atau *Low Mass X-ray Binaries* (LMXBs) yang hampir keseluruhan dari bintang neutron dalam kelompok LMXBs ini tidak menunjukkan bukti-bukti langsung terkait medan magnetik  $B \lesssim 10^{10}$  G. Cakram akresi dipercaya meluas hampir mencapai daerah permukaan bintang, hal ini mengizinkan bintang-bintang neutron tersebut dapat berputar dengan periode akresi dalam milisekon. Oleh sebab itu, bintang-bintang neutron LMXBs dipercaya akan menjadi calon radio pulsar milisekon dan diperkirakan memiliki medan magnetik sebesar  $B \sim 10^8$ - $10^9$  G (Cumming et al. 2001).

Salah satu yang dipercaya dapat menjelaskan rendahnya medan magnet dan berkurangnya denyutan dari sumber adalah medan magnet luar yang “terkubur” atau “tersaring” oleh materi akresi. Bisnovaty-Komberg (1974) mengusulkan bahwa pulsar-pulsar pada sistem ganda mungkin memiliki medan magnet yang rendah karena pengaruh/ akibat dari materi akresi.

Medan magnet luar yang rendah yaitu  $\lesssim 10^{10}$  G belum diketahui asal mulanya namun dipercaya berkaitan langsung dengan akresi materi yang terjadi pada bintang neutron. Perkiraan ini didasarkan pada pengamatan bahwa bintang

neutron yang terisolasi tidak menunjukkan bukti-bukti penurunan medan magnet cukup besar, dan bahwa radio pulsar yang medan magnetnya rendah terjadi hampir pada semua sistem ganda. Selanjutnya, Taam dan van den Heuvel (1986) mempelajari sejumlah sistem dan menyimpulkan bahwa kekuatan medan magnet berkurang seiring dengan jumlah materi yang terakresi, meskipun hal ini ditentang oleh Wijers pada tahun 1997. Penelitian selanjutnya mengungkapkan sejumlah mekanisme yang berbeda dalam membuktikan pengurangan kekuatan medan magnet ini.

Sejumlah penelitian tersebut menitikberatkan penekanan pada perbandingan antara akresi dan difusi Ohmic namun pada konteks yang berbeda. Brown dan Bildsten (1998) membandingkan difusi Ohmic dan waktu adveksi yang dibutuhkan di atmosfer, lautan dan kerak kutub pulsar sinar-X yang mengakresi. Pada kasus ini, materi terakresi yang menuju bintang neutron telah disusupi medan magnetik dan dapat menyebar secara menyamping (lateral) apabila laju aliran difusi Ohmic cukup cepat. Pada tahun 1997 dengan penekanan pada evolusi medan magnetik di bintang neutron yang mengakresi, Konar dan Bhattacharya mengasumsikan bahwa aliran medan magnetik yang berada pada kerak bersaing dengan efek disipasi Ohmic, dan adveksi fluks magnetik menuju daerah yang kerapatannya lebih tinggi dengan waktu disipasi lebih lama (menuju daerah superkonduksi di inti bintang neutron). Hal ini diperkuat dengan artikel Konar dan Bhattacharya (1997) yang menjelaskan penyebab penurunan medan magnet karena akresi, dengan penekanan pada difusi Ohmic dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Pada tahun 2001 Cumming, Zweibel, dan Bildsten menjelaskan evolusi/dinamika medan magnet di bintang neutron yang mengakresi dengan model medan magnetnya

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -c \nabla \times \mathbf{E}, \quad (1)$$

yang menunjukkan permukaan bintang neutron dianggap datar/flat dan medan magnetnya isotropik sehingga dihasilkan

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ v \mathbf{B} + \eta \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial z} \right], \quad \eta = \frac{c^2}{4\pi\sigma}, \quad (2)$$

dengan  $\eta$  menunjukkan difusivitas magnetik. Dari artikel tersebut dapat disimpulkan bahwa penyaringan akan efektif jika kecepatan akresi tinggi, yang dapat diwakilkan oleh  $t_{diff} \equiv H^2/\eta$  yang lebih kecil dari  $t_{acc} \equiv y/\dot{m}$ .

Penelitian terbaru mengenai akresi ini ditunjukkan oleh Choudhuri dan Konar (2002) yang menjelaskan penyaringan terjadi dilihat dari kedalaman lapisan permukaan bintang neutron dengan metode numerik. Selanjutnya, Lovelace, Romanova, dan Bisnovaty-Kogan (2008) menjelaskan penyaringan medan magnet eksternal (rotasi) dikarenakan materi akresi di cakram akresi bintang neutron.

Uraian mengenai berbagai penelitian tersebut menuntun penulis untuk menyelidiki tujuan pada artikel ini yaitu

1. mengetahui evolusi medan magnet anisotrop di bintang neutron yang mengalami akresi, dan
2. meneliti/ memeriksa apakah medan magnet anisotropik dari akresi bintang neutron tersaring secara diamagnetik oleh materi terakresi.

## 2 DINAMIKA/EVOLUSI MEDAN MAGNET DI BINTANG NEUTRON YANG MENGAKRESI

Diberikan suatu bentuk geometri sederhana medan magnetik, model paralel bidang dengan anggapan bahwa medan magnetik  $\mathbf{B}$  hanya bergantung pada kedalaman. Dalam kasus ini, komponen vertikal medan magnetik harus konstan atau dapat disajikan sebagai  $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$  dan dianggap materi yang terakresi tidak termagnetisasi. Model medan magnet anisotropik diberikan oleh

$$\mathbf{B}(r) = B_r(r)\hat{e}_r + B_\theta(r)\hat{e}_\theta + B_\varphi(r)\hat{e}_\varphi. \quad (3)$$

Persamaan kendala dapat disajikan dalam bentuk

$$\frac{\partial B_r(r)}{r} + \frac{\partial B_r(r)}{\partial r} = 0 \quad (4)$$

sehingga medan magnetnya akan menjadi

$$\mathbf{B}(r) = \frac{\kappa}{r^2} \hat{e}_r + B_\varphi(r)\hat{e}_\varphi \quad (5)$$

Medan magnetik yang digunakan adalah sesuai dengan Hukum Faraday, yaitu persamaan (1) dan medan listrik  $\mathbf{E}$  diberikan oleh Hukum Ohm

$$\mathbf{E} = -\frac{v \times \mathbf{B}}{c} + \frac{\mathbf{J}}{\sigma} \quad (6)$$

Dari asumsi tersebut diperoleh

$$\mathbf{E} = \frac{c \cos \theta}{4\pi r \sin \theta} B_\varphi(r) \hat{e}_r - \left[ B_\varphi(r) \left( \frac{c}{4\pi r} + \frac{\dot{m}}{\rho c} \right) + \frac{c}{4\pi} \frac{\partial B_\varphi(r)}{\partial r} \right] \hat{e}_\varphi. \quad (7)$$

Sedangkan laju aliran medan magnet disajikan sebagai

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -c \nabla \times \vec{\mathbf{E}},$$

dan menghasilkan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} = & -\frac{c}{r^2 \sin \theta} \left[ \frac{c}{4\pi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{\partial B_\varphi(r)}{\partial r} \hat{e}_r \right. \\ & + \left( -\frac{c}{4\pi} \frac{\partial^2 B_\varphi(r)}{\partial r^2} - \left( \frac{c}{4\pi r^2} + \frac{\dot{m}}{\rho c} \right) \frac{\partial B_\varphi(r)}{\partial r} \right. \\ & \left. \left. + \frac{c}{4\pi} \operatorname{cosec}^2 \theta B_\varphi(r) + \frac{c}{4\pi r^2} \right) r \sin \theta \hat{e}_\varphi \right]. \quad (8) \end{aligned}$$

## 3 MEDAN MAGNET YANG TERSARING KARENA MATERI AKRESI

Dari persamaan sebelumnya, pengaruh medan magnet yang tersaring akibat materi akresi dapat disajikan sebagai berikut

$$E_\theta = \left[ B_\varphi(r) \left( \frac{c}{4\pi r} + \frac{\dot{m}}{\rho c} \right) + \frac{c}{4\pi} \frac{\partial B_\varphi(r)}{\partial r} \right] = 0 \quad (9)$$

$$\frac{4\pi}{c} \left( \frac{c}{4\pi r} + \frac{\dot{m}}{\rho c} \right) dr = -\frac{dB_\varphi(r)}{B_\varphi(r)} \quad (10)$$

$$B_\varphi(r) = C e^{-\int \left( \frac{1}{r} + \frac{4\pi \dot{m}}{\rho c^2} \right) dr} \quad (11)$$

Persamaan (9) menunjukkan medan listrik yang bergantung pada laju massa materi akresi sedangkan persamaan (10) dan (11) menjelaskan ketergantungan pada suku medan magnetik. Medan magnet ini bergantung secara langsung pada perbandingan waktu akresi dan laju difusi Ohmic.

## 4 PENUTUP

Pemaparan di atas menuntun kita pada kesimpulan bahwa besarnya kecepatan akresi menyebabkan penurunan medan magnet di bintang

neutron, yang disajikan dalam persamaan (10). Penurunan medan magnet pada bintang neutron ini sangat bergantung pada waktu difusi Ohmic maupun waktu akresi sehingga perbandingan keduanya sangat dibutuhkan untuk mengetahui laju masing-masing komponen. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu memperkirakan perbandingan antara waktu difusi dan waktu akresi tersebut, yaitu  $t_{diff}/t_{accretion}$ .

### Ucapan Terima Kasih

Kami menyampaikan terima kasih kepada segenap anggota Kelompok Penelitian Kosmologi, Astrofisika dan Fisika Matematika (KAM) yang

telah memberikan dukungan dan semangat pada setiap kegiatan dan penelitian yang kami kerjakan.

### 5 PUSTAKA

- Bisnovatyi-Kogan, G. S., & Komberg, B. V. 1974, *Sov. Astron.*, 18 (2), 217-221
- Brown, E. F., Bildsten, L., & Rutledge, R. E. 1998, *Astrophys. J.*, 504, L95-L98
- Cumming, A., Zweibel, E., & Bildsten, L. 2010, *Astrophys. J.*, 557 (2), 958-966
- Choudhuri, A. R., & Konar, S. 2001, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 348 (2), 661-668
- Lovelace, R. V. E., Romanova, M. M., & Bisnovatyi-Kogan, G. S. 2008, *Astrophys. J.*, 625 (2), 957-965
- Taam, R. E., & van den Heuvel, E. P. J. 1986, *Astrophys. J.*, 305, 235-245