Termodinamika dan Fisika Piringan Akresi CV: Lanning 386*

PPMI KK Astronomi 2026

Aliyya Nur Rahma [1], Mahasena Putra [1,2], Chatief Kunjaya [1,2], Dhani Herdiwijaya [1,2], Muhamad Irfan Hakim [1,2], Satrio Fatkhusalma[2], Teduh Perhati [1], Mohamad Ridwan Hidayat [1], Naufal Farras Nurindra [1], Arfil Rizki Sampurna Ratu [1], Raihan Amirul Husana [1]

[1] KK Astronomi, FMIPA ITB
[2] Observatorium Bosscha, FMIPA ITB

Abstrak

Penelitian ini menyajikan analisis struktur dan termodinamika dari sistem *cataclysmic variable* (CV) Lanning 376. Menggunakan fotometri deret waktu kontinu dari 5 sektor TESS, kurva cahaya dimodelkan dengan pendekatan geometri Roche LFIT dan statistik inferensial MCMC pada 66 segmen status akresi. Dengan jarak dari Gaia DR3 (d = 573,1 ± 12,5 pc) dan besaran empiris bintang donor, diperoleh inklinasi i = 86,5°, rasio massa q = 0,458 ± 0,015, dan massa katai putih M_{WD} = 0,69 ± 0.04 $M_{\odot}$. Piringan akresi saat *quiescence* telah terisi penuh (r_D ~ 0,41 a) hingga mendekati batas pasang surut dan batas resonansi 3:1, sehingga piringan hanya berekspansi radial terbatas (+0,62%) saat *outburst*.

Koreksi kontaminasi sebesar 94% dari bintang latar belakang menunjukkan bahwa amplitudo *outburst* Lanning 386 khas kelas dwarf nova (Δg ~ 2,41 mag). Luminositas sinar-X yang rendah dan ketiadaan modulasi spin katai putih pada kurva cahaya TESS memastikan Lanning 386 sebagai *dwarf nova* non-magnetik.

Kata kunci: bintang ganda gerhana, *cataclysmic variables*, piringan akresi.

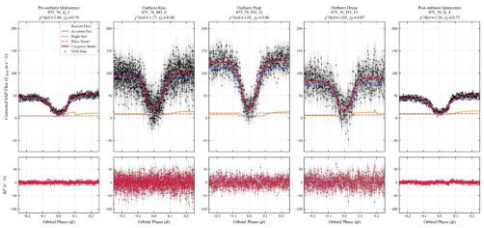
Pendahuluan

Cataclysmic variables (CV) merupakan sistem bintang ganda dekat yang terdiri dari katai putih yang mengakresi materi dari bintang donor yang mengisi lobus Roche-nya. Pada sistem CV non-magnetik dengan laju transfer massa rendah hingga sedang, yakni pada kelas *Dwarf Nova* (DN), piringan akresi mengalami siklus ketidakstabilan termal-viskositas sesuai *Disc Instability Model* (DIM), yang memprediksi ekspansi radius piringan secara signifikan saat terjadi *outburst*.

Lanning 386 (Porb = 3,94 jam) secara historis sempat diklasifikasikan sebagai *novalike variables* (NL) karena karakteristik spektrumnya [1,2], sedangkan terdeteksinya sinar-X mengusulkan objek ke dalam CV kelas *intermediate polar* (IP). Perbedaan interpretasi ini utamanya dipicu oleh estimasi jarak historis yang sangat beragam, merentang dari 160 pc hingga 1900 pc, serta adanya kontaminasi cahaya dari bintang latar belakang. Oleh karena itu, penelitian ini memadukan astrometri Gaia DR3, fotometri TESS resolusi tinggi, pemodelan kurva cahaya, dan identifikasi posisi bintang latar belakang, untuk merekonstruksi geometri piringan, menguji kesesuaian dinamika outburst dengan model DIM, serta mengevaluasi ulang status magnetik Lanning 386.

Metode Penelitian

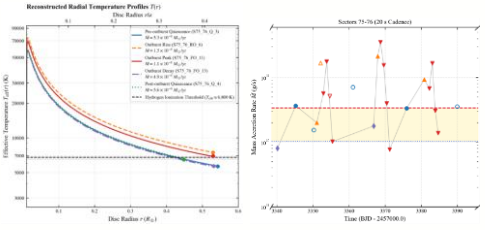
Data *Simple Aperture Photometry* (SAP) dari TESS untuk Sector 56 (*cadence* 120s) dan Sector 75, 76, 82, 83 (*cadence* 20s) dikoreksi menggunakan parameter CROWDSAP dan FLFRCSAP untuk mengoreksi kontaminasi fluks latar belakang, menghasilkan kurva cahaya deret waktu yang bersih. Sejumlah 791 gerhana yang teridentifikasi dipartisi secara berurut berdasarkan status akresi piringan yakni *quiescence*, *outburst* naik, *outburst* turun, dan transisi. Diperoleh 66 segmen berdasarkan status akresi tersebut.



Gambar 1. Dekomposisi model kurva cahaya gerhana TESS Sector 76 saat outburst. Biru: kontribusi piringan akresi, oranye: bright spot , ungu: katai putih.

Dari 66 segmen, dilakukan pemodelan kurva cahaya gerhana menggunakan LFIT [4,5] yang berbasis geometri Roche, dipadukan dengan bayesian MCMC (emcee). Oleh pemodelan, kurva cahaya didekomposisi ke dalam komponen katai putih, piringan akresi, bright spot, dan bintang donor. Prior diregulasi berdasarkan besaran empiris [6] bintang donor dan relasi massa-radius katai putih [7]. Hasil pemodelan LFIT dan MCMC dievaluasi menggunakan χ^2/dof dan konvergensi Gelman-Rubin, menghasilkan 54 segmen dengan kualitas terbaik.

Fluks bersih piringan akresi kemudian dikalibrasi ke satuan fisis menggunakan zero point TESS, jarak, dan koreksi ektingsi. Dengan mencocokkan fluks piringan pengamatan dan integrasi fungsi Planck pada model *optically thick* piringan tipis Shakura-Sunyaev [8], diperoleh nilai laju akresi massa $\dot{M}(t)$ dan profil radial temperatur efektif $T_{eff}(r)$ piringan.



Gambar 2. Kiri: Rekonstruksi profil temperatur radial $T_{eff}(r)$ pada Sektor 76. Kanan: Perubahan laju akresi massa $\dot{M}(t)$ pada Sektor 76 dibandingkan batas stabilitas cabang panas dan cabang dingin model DIM.

Hasil dan Diskusi

Hasil pemodelan LFIT-MCMC pada 54 segmen terbaik, bersama dengan hukum Kepler 3 dan hubungan empiris, menghasilkan separasi orbit a = 1,27 ± 0,04 $R_{\odot}$, inklinasi i = 86,5°, rasio massa q = 0,46 ± 0,02, dan massa katai putih M_{WD} = 0,69 ± 0,04 $M_{\odot}$. Piringan akresi telah terisi penuh (r_D = 0,412 a) di dekat batas pasang surut (0,409 a) dan resonansi 3:1 (0,423 a) sejak *quiescence*, sehingga torsi pasang surut menahan pengembangan piringan saat *outburst* hanya sebesar +0,62%. Meski demikian, laju akresi tetap melonjak 5,5x dari *quiescence* ke *outburst*, memanaskan tepi luar piringan dari 4.469 K ke 7.367 K, melampaui temperatur ambang ionisasi hidrogen.

Laju akresi saat *quiescence* berada di dekat batas cabang dingin DIM. Stabilnya fluks bright spot (9,4 – 11,3 e-/s) dan dominasi cahaya dari piringan (83,4%) membuktikan *outburst* dipicu oleh ketidakstabilan piringan (DIM) alih-alih lonjakan transfer massa (MTI). Pengurasan massa parsial menghasilkan siklus sistem yang cepat (~14 hari), sementara koreksi *de-blending* pada data ZTF mengkonfirmasi amplitudo intrinsik Lanning 386 yang masih khas kelas DN (Δg ~ 2,41 mag). Luminositas sinar-X yang dihitung dengan jarak Gaia DR3 menunjukkan nilai yang rendah untuk kelas IP, serta ketiadaan sinyal spin katai putih pada data TESS melemahkan klasifikasi IP pada Lanning 386.

Kesimpulan

Lanning 386 terkonfirmasi sebagai DN non-magnetik di atas period gap (P_{orb} = 3,94 jam, i = 86,5°, M_{WD} = 0,69 $M_{\odot}$. *Outburst* dengan amplitudo kecil yang teramati disebabkan oleh kombinasi siklus ketidakstabilan termal-viskositas parsial (DIM) pada piringan yang telah terisi penuh di dekat batas pasang surut – sehingga ekspansi radial tertahan meski laju akresi melonjak – serta efek pencemaran cahaya dari bintang tetangga yang cukup besar (94%) pada pengamatan TESS dengan *aperture* besar.

Karakteristik siklus dengan keberulangan yang cepat dan piringan yang dekat batas stabilitas menempatkan Lanning 386 pada fase transisi antara DN normal dengan sistem Z Cam dan IW And. Pengamatan lanjutan berupa fotometri kecepatan tinggi multi-panjang gelombang dan spektroskopi dalam resolusi fase orbit diperlukan untuk memetakan perambatan gelombang ionisasi radial serta menyelidiki struktur lapisan batas di dekat katai putih.

Referensi: [1] Eracleous M., dkk, 2002, PASP, 114, 207; [2] Brady S., dkk, 2008, PASP, 120, 301; [3] Kennedy M. R., dkk, 2017, MNRAS, 466, 2202; [4] Savoury C. D. J., et al., 2011, MNRAS, 415, 2025; [5] McAllister M. J., et al., 2017, MNRAS, 464, 1353; [6] Knigge C., dkk, 2011, ApJS, 194, 28; [7] Nauenberg M., 1972, ApJ, 175, 417; [8] Shakura N. I., Sunyaev R. A., 1973, A&A, 24, 337

**) Objek yang diajukan pada proposal PPMI 2026 dengan hasil penelitian PPMI 2026 mengalami penyesuaian karena keterbatasan data yang tersedia. Hasil penelitian pada poster ini telah dikirimkan (submitted) untuk publikasi pada jurnal Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS).*