

**PEMODELAN EVOLUSI SISTEM BINTANG GANDA TIPE ALGOL
BERBANTUAN MESA (MODULES FOR EXPERIMENTS IN
STELLAR ASTROPHYSICS): STUDI KASUS DN ORIONIS**



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains program
studi fisika kelompok bidang kajian fisika antariksa dan energi tinggi

Oleh:

Deva Refika Nansyah

NIM 2108030

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2025

LEMBAR HAK CIPTA

PEMODELAN EVOLUSI SISTEM BINTANG GANDA TIPE ALGOL BERBANTUAN MESA (MODULES FOR EXPERIMENTS IN STELLAR ASTROPHYSICS): STUDI KASUS DN ORIONIS

Oleh:

Deva Refika Nansyah

2108030

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Deva Refika Nansyah

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2025

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,

Dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

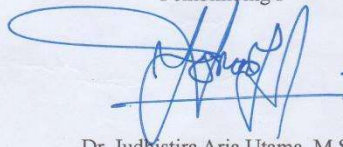
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

DEVA REFIKA NANSYAH

PEMODELAN EVOLUSI SISTEM BINTANG GANDA TIPE ALGOL
BERBANTUAN MESA(MODULES FOR EXPERIMENTS IN STELLAR
ASTROPHYSICS): STUDI KASUS DN ORIONIS

Disetujui dan disahkan oleh:

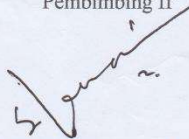
Pembimbing I



Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.

NIP. 197703312008121001

Pembimbing II



Dr. Selly Feranie, M.Si.

NIP. 197411081999032004

Mengetahui

Ketua Program Studi Fisika



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Deva Refika Nansyah
NIM : 2108030
Program Studi : Fisika
Judul Karya : Pemodelan Evolusi Sistem Bintang Ganda Tipe
Algol Berbantuan MESA (MODULES FOR
EXPERIMENTS IN STELLAR
ASTROPHYSICS) : Studi Kasus DN Orionis

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri.
Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik Sebagian maupun keseluruhan,
bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang
telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur
plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di
Universitas Pendidikan Indonesia

Bandung, 02 Juli 2025



Tanda Tangan : _____

Deva Refika Nansyah

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang. Berkat limpahan rahmat, hidayah, dan ridha-Nya, proses penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Segala puji hanya milik-Nya yang senantiasa memberikan kemudahan dalam setiap usaha dan ikhtiar. Shalawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang selalu menjadi teladan dalam setiap langkah kehidupan. Skripsi ini, yang berjudul "Pemodelan Evolusi Sistem Bintang Ganda Tipe Algol Berbasis MESA (Modules for Experiments in Stellar Astrophysics): Studi Kasus DN Orionis", disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) pada Program Studi Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan selama proses penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan arahan serta masukan yang sangat berharga. Meskipun demikian, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca serta dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, terutama di bidang fisika bintang ganda.

Bandung, 02 Juli 2025



Penulis

Deva Refika Nansyah

NIM 2108030

Deva Refika Nansyah, 2025

PEMODELAN EVOLUSI SISTEM BINTANG GANDA TIPE ALGOL BERBANTUAN MESA (MODULES FOR EXPERIMENTS IN STELLAR ASTROPHYSICS): STUDI KASUS DN ORIONIS

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

ABSTRAK

Sistem bintang ganda DN Orionis merupakan bintang ganda semi-terpisah yang mengalami transfer massa melalui mekanisme Roche Lobe Overflow (RLOF). Proses transfer massa berperan dalam evolusi kedua bintang, mempengaruhi parameter fisik seperti massa, radius, suhu efektif, dan dinamika orbit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak transfer massa terhadap evolusi kedua bintang, dengan fokus pada perubahan parameter mereka setelah transfer massa berakhir tanpa meluas hingga tahap evolusi akhir. Dengan menggunakan MESA (*Modules for Experiments in Stellar Astrophysics*), untuk membuat model evolusi sistem DN Orionis. Awalnya, bintang primer memiliki massa lebih kecil, yaitu $M=1,8 M_{\odot}$, dibandingkan bintang sekunder $M=3,1 M_{\odot}$, dengan periode orbit $P=2,5$ hari. Transfer massa meningkatkan massa bintang primer menjadi $M=2,9 M_{\odot}$, sementara bintang sekunder kehilangan sebagian besar massanya hingga tersisa $M=0,23 M_{\odot}$. Radius dan suhu efektif kedua bintang berubah secara signifikan: radius bintang sekunder menyusut dari $R=5,67 R_{\odot}$ menjadi $R=0,0174 R_{\odot}$, sedangkan bintang primer mengembang dari $R=1,5 R_{\odot}$ menjadi $R=25,72 R_{\odot}$. Bintang primer berevolusi menjadi sub-raksasa merah dengan suhu efektif $\log T_{\text{eff}}=3,688$, sementara bintang sekunder menjadi katai putih dengan suhu efektif $\log T_{\text{eff}}=4,2682$. Redistribusi momentum sudut menyebabkan periode orbit meningkat menjadi $P=20,9$ hari. Hasil studi ini menghasilkan bagaimana aliran massa membentuk evolusi dan parameter sistem bintang ganda *semi-detached* sebelum mencapai tahap evolusi akhirnya, dengan menunjukkan bahwa pembalikan rasio massa yang signifikan dan peningkatan periode orbit merupakan hasil utama dari mekanisme *Roche Lobe Overflow* pada sistem seperti DN Orionis.

Kata Kunci: Bintang ganda semi-terpisah; Roche Lobe Overflow (RLOF); Transfer Massa; Evolusi Bintang; DN Orionis

ABSTRACT

The DN Orionis binary star system was a semi-detached binary undergoing mass transfer using Roche Lobe Overflow (RLOF) mechanism. This process played a role in the evolution of both stars, influencing physical parameters such as mass, radius, effective temperature, and orbital dynamics. This study aimed to analyze the impact of mass transfer on the evolution of both stars, focusing on changes in their parameters after the mass transfer ended without extending to their final evolutionary stages. Using MESA (Modules for Experiments in Stellar Astrophysics), the evolution of the DN Orionis system was modeled. Initially, the primary star had a smaller mass $M = 1.8 \text{ Msun}$ than the secondary $M = 3.1 \text{ Msun}$, with an orbital period of $P = 2.5$ days. Mass transfer increased the primary's mass to $M = 2.9 \text{ Msun}$, while the secondary lost most of its mass, leaving $M = 0.23 \text{ Msun}$. The radii and effective temperatures of both stars changed significantly: the secondary's radius contracted from $R = 5.67 \text{ Rsun}$ to $R = 0.0174 \text{ Rsun}$, while the primary expanded from $R = 1.5 \text{ Rsun}$ to $R = 25.72 \text{ Rsun}$. The primary evolved into a sub-red giant with a effective temperature $\log T_{\text{eff}} = 3.688$, while the secondary became a white dwarf with a effective temperature $\log T_{\text{eff}} = 4.2682$. Angular momentum redistribution caused the orbital period to increase to $P = 20.9$ days. This study provided insights into how mass transfer shaped the evolution and parameters of semi-detached binary stars before reaching their final evolutionary stages, demonstrating that significant mass ratio inversion and orbital period expansion are key outcomes of Roche Lobe Overflow in systems like DN Orionis.

Keywords: Semi-detached binary; Roche Lobe Overflow (RLOF); Mass Transfer; Stellar Evolution; DN Orionis

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan Masalah	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	10
2.1 Struktur Bintang	10
2.2 Tahap Fase Evolusi Bintang	15
2.3 Transfer Massa	20
2.4 Pemodelan Struktur Evolusi Bintang	23
2.5 Pemodelan Struktur Evolusi Bintang Ganda	24
2.6 DN Orionis	27
2.7 Pemodelan Evolusi Bintang Ganda Dalam MESA	29
BAB III METODE PENELITIAN	33

Deva Refika Nansyah, 2025

PEMODELAN EVOLUSI SISTEM BINTANG GANDA TIPE ALGOL BERBANTUAN MESA (MODULES FOR EXPERIMENTS IN STELLAR ASTROPHYSICS): STUDI KASUS DN ORIONIS

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

3.1 Jenis dan Alat Penelitian	33
3.2 Prosedur Penelitian	34
3.2.1 Data Sistem Bintang DN Orionis	34
3.2.2 Input dan Output Software MESA	35
3.2.3 Plotting	37
3.2.4 Analisis Data	38
3.2.4.1 Pengolahan Hasil Simulasi	39
3.2.4.2 Visualisasi Data	39
3.2.4.3 Parameter Utama yang Dianalisis	41
3.2.4.4 Interpretasi Hasil Simulasi	41
3.2.4.5 Evaluasi dan Validasi Hasil	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Simulasi	43
4.1.1 Parameter Awal Sistem DN Orionis	43
4.1.2 Diagram Hertzsprung-Russell	44
4.1.3 Tingkat Transfer Massa	49
4.1.4 Evolusi Massa Bintang	51
4.1.5 Evolusi Radius Bintang	55
4.1.6 Perubahan Orbital Bintang	58
4.1.7 Evolusi Struktur Internal Bintang Bintang Primer	61
4.1.8 Evolusi Struktur Internal Bintang Bintang Sekunder	65
4.1.9 Output Akhir Simulasi	68
4.2 Analisis dan Interpretasi Hasil	70
4.2.1 Transfer Massa dan Dampaknya	70
4.2.2 Perbandingan dengan Teori Evolusi Bintang Ganda	71

4.3 Pembahasan Hasil Simulasi	72
4.3.1 Implikasi Evolusi DN Orionis	72
4.3.2 Relevansi Hasil dengan Penelitian Sebelumnya	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Fotografi bintang ganda (Chumack, 2013)	2
Gambar 1.2 Klasifikasi interaksi gravitasi dalam bintang ganda (Walker, 2017) ...	4
Gambar 2.1 Tahap evolusi bintang berdasarkan diagram HR. Sumber: Kurniawan (2021), Bagaimana bintang terbentuk?, Superprof. Diakses dari https://www.superprof.co.id/blog/bagaimana-bintang-terbentuk/	15
Gambar 2.2 Ilustrasi dari sebuah nebula. Sumber: Kurniawan (2021), Bagaimana bintang terbentuk?, Superprof. Diakses dari https://www.superprof.co.id/blog/bagaimana-bintang-terbentuk/	16
Gambar 2.3 Roche lobe dalam bintang ganda (Abdulameer, 2019)	20
Gambar 2.4 Spektroskopi dari DN Orionis (Etzel & Olson, 1995)	28
Gambar 2.5 Diagram HR bintang sekunder DN Orionis oleh Kamal (Kamal dkk., 2014)	29
Gambar 3.1 Output evolusi bintang MESA menggunakan GNUPLOT	38
Gambar 3.2 Output massa bintang MESA menggunakan GNUPLOT	39
Gambar 3.3 Output Hertzsprung-Russell bintang MESA menggunakan GNUPLOT	40
Gambar 3.4 Output periode bintang MESA menggunakan GNUPLOT	40
Gambar 3.5 Output struktur bintang MESA menggunakan GNUPLOT	41
Gambar 4.1 Diagram Hertzsprung-Russell bintang primer DN Orionis	44
Gambar 4.2 Diagram Hertzsprung-Russell bintang sekunder DN Orionis	47
Gambar 4.3 Grafik tingkat transfer massa evolusi sistem bintang DN Orionis	49
Gambar 4.4 Grafik evolusi massa bintang primer terhadap waktu	51
Gambar 4.5 Grafik massa bintang sekunder terhadap waktu	53
Gambar 4.6 Grafik radius bintang primer terhadap waktu	55
Gambar 4.7 Grafik radius bintang sekunder terhadap waktu	57
Gambar 4.8 Grafik periode sistem bintang DN Orionis terhadap waktu	59
Gambar 4.9 Diagram struktur internal tahap ZAMS & MS bintang primer sistem DN Orionis	61

Gambar 4.10 Diagram struktur internal tahap awal transfer massa bintang primer sistem DN Orionis	62
Gambar 4.11 Diagram struktur internal tahap akhir transfer massa bintang primer sistem DN Orionis	63
Gambar 4.12 Diagram struktur internal tahap akhir bintang primer sistem DN Orionis	64
Gambar 4.13 Diagram struktur internal tahap ZAMS & MS bintang sekunder sistem DN Orionis	65
Gambar 4.14 Diagram struktur internal tahap awal transfer massa bintang sekunder sistem DN Orionis	66
Gambar 4.15 Diagram struktur internal tahap akhir transfer massa bintang sekunder sistem DN Orionis	67
Gambar 4.16 Diagram struktur internal tahap akhir bintang sekunder sistem DN Orionis	68
Gambar 4.17 Diagram Hertzsprung-Russell bintang primer DN Orionis oleh Kamal menggunakan STARS (Kamal dkk., 2014)	75

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel Evolusi Temperatur Bintang Primer Sistem DN Orionis	46
Tabel 4.2 Tabel Evolusi Temperatur Bintang Sekunder Sistem DN Orionis	49
Tabel 4.3 Tabel Evolusi Massa Bintang Primer Sistem DN Orionis	52
Tabel 4.4 Tabel Evolusi Massa Bintang Sekunder Sistem DN Orionis	54
Tabel 4.5 Tabel Evolusi Radius Bintang Primer Sistem DN Orionis	56
Tabel 4.6 Tabel Evolusi Radius Bintang Sekunder Sistem DN Orionis	58
Tabel 4.7 Tabel Evolusi Periode Sistem Bintang DN Orionis	60
Tabel 4.8 Tabel Parameter Evolusi DN Orionis	74

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulameer, M. (2019). The distance variation due to mass transfer and mass loss in (13.6+8) M and (13+10) M binary star systems. *Iraqi Journal of Physics (IJP)*, 11, 9–16. <https://doi.org/10.30723/ijp.v11i20.377>
- Aitken, R. G. (1935). Binary Stars. *Nature*, 136(3441), 590–591. <https://doi.org/10.1038/136590a0>
- Avvakumova, E. A., Malkov, O. Yu., & Kniazev, A. Yu. (2013). Eclipsing variables: Catalogue and classification. *Astronomische Nachrichten*, 334(8), 860. <https://doi.org/10.1002/asna.201311942>
- Chumack. (2013). *Albireo in Cygnus*. <http://www.galacticimages.com>.
- Clayton, D. D. (1968). *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis*. University of Chicago Press.
- de Mink, S. E., Langer, N., Izzard, R. G., Sana, H., & de Koter, A. (2013). The rotation rates of massive stars: The role of binary interaction through tides, mass transfer, and mergers. *The Astrophysical Journal*, 764(2), 166. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/764/2/166>
- Eggleton, P. P. (1983). Aproximations to the radii of Roche lobes. *The Astrophysical Journal*, 268, 368–369. <https://doi.org/10.1086/160960>
- Eggleton, P. P. (2006). *Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars*. Cambridge University Press.
- Eggleton, P. P., & Kiseleva-Eggleton, L. (2002). The Evolution of Cool Algols. *The Astrophysical Journal*, 575(1), 461–473. <https://doi.org/10.1086/341215>
- Etzel, P. B., & Olson, E. C. (1995). DN Orionis: A Long-Period Mass-Transferring “Slightly Detached” Algol Binary. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 110, 1809. <https://doi.org/10.1086/117652>
- Hansen, C. J., & Kawaler, S. D. (1994). *Stellar Interiors. Physical Principles, Structure, and Evolution*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9110-2>
- Heger, A., Fryer, C. L., Woosley, S. E., Langer, N., & Hartmann, D. H. (2003). How Massive Single Stars End Their Life. *The Astrophysical Journal*, 591(1), 288–300. <https://doi.org/10.1086/375341>
- Hertzsprung, E. (1911). Ueber die Verwendung photographischer effektiver Wellenlaengen zur Bestimmung von Farbaequivalenten. *Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam*, 63, 1-26.
- Iben Jr., I. (1991). Single and Binary Star Evolution. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 76, 55-122. <https://doi.org/10.1086/191565>
- Jones, D., & Boffin, H. M. J. (2017). Binary stars as the key to understanding planetary nebulae. *Nature Astronomy*, 1(5), 0117. <https://doi.org/10.1038/s41550-017-0117>

- Kamal, M Abu, Prabowo, S., & Fitriyani, R. (2014). *Pemodelan Struktur dan Evolusi Sistem Bintang Ganda Dekat Tipe Algol*. Skripsi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Kippenhahn, R., & Weigert, A. (1990). *Stellar Structure and Evolution*. Springer.
- Kippenhahn, R., Weigert, A., & Weiss, A. (2013). *Stellar Structure and Evolution* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30304-3>
- Kolb, U., & Ritter, H. (1990). A comparative study of the evolution of a close binary using a standard and an improved technique for computing mass transfer. *Astronomy and Astrophysics*, 236, 385–392.
- Kounkel, M., Statti, M., Kulkarni, A., Stassun, K. G., & Sun, M. (2024). Stellar properties of an actively accreting Algol-type eclipsing binary 2M16212643+2136590. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 527(2), 3806–3817. <https://doi.org/10.1093/mnras/stad3439>
- Langer, N. (2012). Presupernova Evolution of Massive Single and Binary Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 50, 107–164. <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081811-125534>
- McKee, C. F., & Ostriker, E. C. (2007). Theory of Star Formation. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 45(1), 565–687. <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.45.051806.110602>
- Miller Bertolami, M. M. (2016). New models for the evolution of post-asymptotic giant branch stars and central stars of planetary nebulae. *Astronomy & Astrophysics*, 588, A25. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201526577>
- Nelson, C. A., & Eggleton, P. ~P. (2001). A Complete Survey of Case A Binary Evolution with Comparison to Observed Algol-type Systems. *The Astrophysical Journal*, 552(2), 664–678. <https://doi.org/10.1086/320560>
- Paczynski, B. (1971). Evolutionary Processes in Close Binary Systems. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 9, 183–208. <https://doi.org/10.1146/annurev.aa.09.090171.001151>
- Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., Herwig, F., Lesaffre, P., & Timmes, F. X (2010). Modules for experiments in stellar astrophysics (MESA). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 192(1), 3. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/192/1/3>
- Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., Herwig, F., Lesaffre, P., & Timmes, F. X (2011). Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 192(1), 3. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/192/1/3>
- Paxton, B., Marchant, P and Schwab, J and Bauer, EB and Bildsten, L and Cantiello, M and Dessart, L and Farmer, R and Hu, H and Langer, & N and others. (2015). Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Binaries, Pulsations, and Explosions. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 220(1), 15. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/220/1/15>

- Paxton, B., Smolec, R., Schwab, J., Gautschi, A., Bildsten, L., Cantiello, M., Dotter, A., Farmer, R., Goldberg, J. A., Jermyn, A. S., Kanbur, S. M., Marchant, P., Thoul, A., Townsend, R. H. D., Wolf, W. M., Zhang, M., & Timmes, F. X. (2019). Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Pulsating Variable Stars, Rotation, Convective Boundaries, and Energy Conservation. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 243(1), 10. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab2241>
- Paxton Bill, Cantiello Matteo, Arras Phil, Bildsten Lars, Brown Edward F, Dotter Aaron, Mankovich Christopher, Montgomery MH, Stello Dennis, Timmes FX, & others. (2013). Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets. *Oscillations, Rotation, and Massive Stars, The Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1), 4. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/208/1/4>
- Paxton Bill, Schwab Josiah, Bauer Evan B., Bildsten Lars, Linnikov Sergei, Duffell, P., Farmer, R., Goldberg, J. A., Marchant, P., Sorokina, E., Thoul, Anne, Townsend, R. H. D., & Timmes, F. X. (2018). Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Convective Boundaries, Element Diffusion, and Massive Star Explosions. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 234(1), 34. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/aaa5a8>
- Peters, G. J. (2001). The Algol-Type Binaries. In D. Vanbeveren (Ed.), *The Influence of Binaries on Stellar Population Studies*, 264, 79. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9723-4_6
- Podsiadlowski, Ph., Joss, P. ~C., & Hsu, J. ~J. ~L. (1992). Presupernova Evolution in Massive Interacting Binaries. *The Astrophysical Journal*, 391, 246. <https://doi.org/10.1086/171341>
- Pols, O. R. (2011). *Stellar Structure and Evolution*. Astronomical Institute Utrecht. <https://books.google.co.id/books?id=sawHtAEACAAJ>
- Prialnik, D. (2009). *An Introduction to the Theory of Stellar Structure and Evolution* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Pustynnik, I., & Glazunova, L. (2003). Mass transfer and loss in binary stars. *Astronomy Reports*, 47(1), 53–66. <https://doi.org/10.1134/1.1536965>
- Ritter, H. (1988). Turning on and off mass transfer in cataclysmic binaries. *Astronomy and Astrophysics*, 202, 93–100.
- Russell, H. N. (1914). Relations Between the Spectra and Other Characteristics of the Stars. *Popular Astronomy*, 22, 275–294.
- Schindler, J.-T., Green, E. M., Arnett, W. D., & Townsend, R. H. D. (2015). MESA models of subdwarf B stars and g-mode pulsations. *The Astrophysical Journal*, 806(2), 178. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/806/2/178>
- Schwarzschild, M. (1958). *Structure and evolution of the stars*. Princeton University Press.

- Schwarzschild, M. (2015). *Structure and Evolution of Stars*. Princeton University Press. <https://books.google.co.id/books?id=60vWCgAAQBAJ>
- Shu, F. H., Adams, F. C., & Lizano, S. (1987). Star formation in molecular clouds: observation and theory. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 25, 23–81. <https://doi.org/10.1146/annurev.aa.25.090187.000323>
- Smak, J. (1964). DN Orionis. *The Astrophysical Journal*, 76(451), 210–211. <https://doi.org/10.1086/128087>
- Stancliffe, R. J., Tout, C. A., Pols, O. R., & Eggleton, P. P. (2005). The evolution of stars in close binaries affected by thermohaline mixing. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 356(3), L1–L5. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2005.00037.x>
- Tauris, T. M., & van den Heuvel, E. P. J. (2006). Formation and evolution of compact stellar X-ray sources. In W. H. G. Lewin & M. van der Klis (Ed.), *Compact stellar X-ray sources*, 39, 623–665. <https://doi.org/10.48550/arXiv.astro-ph/0303456>
- Toonen, S., Claeys, J. S. W., Mennekens, N., & Ruiter, A. J. (2014). PopCORN: Hunting down the differences between binary population synthesis codes. *Astronomy & Astrophysics*, 562, A14. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201321576>
- van Rensbergen, W., Mennekens, N., de Greve, J.-P., Jansen, K., & de Loore, B. (2011). Evolutionary models of binaries. Dalam C. Neiner, G. Wade, G. Meynet, & G. Peters (Ed.), *Active OB Stars: Structure, Evolution, Mass Loss, and Critical Limits*, 272, 486–491. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1743921311011136>
- Walker, R. (2017). Spectroscopic Binaries. In R. Walker (Ed.), *Spectral Atlas for Amateur Astronomers: A Guide to the Spectra of Astronomical Objects and Terrestrial Light Sources*, 123–131. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316694206.024>
- Wellstein, S., & Langer, N. (1999). Implications of massive close binaries for black hole formation and supernovae. *Astronomy and Astrophysics*, 350, 148–162. <https://doi.org/10.48550/arXiv.astro-ph/9904256>
- Woosley, S. E., Heger, A., & Weaver, T. A. (2002). The evolution and explosion of massive stars. *Reviews of Modern Physics*, 74(4), 1015–1071. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.1015>