

**PEMODELAN STRUKTUR DAN EVOLUSI
SISTEM BINTANG GANDA DEKAT TIPE ALGOL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika



Disusun Oleh:

M. Abu Kamal

09620025

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2014



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/135/2013

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : **Pemodelan Struktur Dan Evolusi Sistem Bintang Ganda Dekat Tipe Algol**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : M. Abu Kamal
NIM : 09620025
Telah dimunaqasyahkan pada : 10 Januari 2014
Nilai Munaqasyah : A
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Asih Melati, S.Si., M.Sc.
NIP.19841110 201101 2 017

Penguji I

Joko Purwanto, M.Sc
NIP.19820306 200912 1 002

Penguji II

Tatik Juwariyah, M.Sc.

Yogyakarta, 20 Januari 2013
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Prof. Drs. H. Akh. Minhaji, M.A, Ph.D
NIP. 19580919 198603 1 002



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : M. Abu Kamal
NIM : 09620025
Judul Skripsi : Pemodelan Struktur Dan Evolusi Sistem Bintang Ganda Dekat Tipe Algol

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Fisika

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 19 Desember 2013
Pembimbing I

Fathonah Dwi Rahayu, M.Si



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal :

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : M. Abu Kamal

NIM : 09620025

Judul Skripsi : *Pemodelan Struktur Dan Evolusi Sistem Bintang Ganda Dekat Tipe Algol*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Fisika

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 19 Desember 2013

Pembimbing II

Asih Melati, S.Si., M.Sc.

NIP. 19841110 201101 2 017

PERNYATAAN KEASLIAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **M. Abu Kamal**
Tempat & Tgl. Lahir : Sumenep, 26 Januari 1989
Nomor Induk Mahasiswa : 09620025
Jururan / Prodi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila ternyata kelak dikemudian hari terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya.

Yogyakarta, 20 Desember 2013

Pembuat pernyataan,



M. Abu Kamal
NIM : 09620025

MOTTO HIDUP

“Badai Pasti Berlalu”

“setelah kesulitan pasti ada kemudahan”

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٥﴾ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٦﴾ فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ﴿٧﴾
وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ ﴿٨﴾

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada:

Kedua orang tuaku tercinta, Mahfudz dan Surahmah yang telah berjuang, merawat, membesarkan dan mendidikku dengan penuh keikhlasan dan kasih sayang

Saudara-saudaraku tercinta Nor Sihah, Hollina, Kholis dan Emil Hanafi

Keluarga dan orang-orang terkasih yang telah mendukung dan mendoakanku

Calon pendamping hidup yang setia menunggu dan berdoa

*Almamaterku tercinta Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas
Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanya untuk Allah atas nikmat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul *“Pemodelan Struktur dan Evolusi Sistem Bintang Ganda Dekat Tipe Algol”*. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Sains Ilmu Fisika di Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulis sangat bersyukur telah diberi kesempatan untuk menempuh pendidikan di jenjang universitas, khususnya program studi Fisika. Penulis berharap, tahap ini hanyalah titian awal untuk terjun dalam dunia Fisika yang sangat luas.

Proses penulisan dan penyusunan skripsi ini terwujud, tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Dengan rasa hormat penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tuaku beserta keluarga besar tercinta atas panjatan doa dan pengorbanannya dalam merawat dan mendidik hamba demi mendapat ridha Allah.
2. Prof. Drs. H. Akh. Minhaji, M.A, Ph.D selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

3. Bapak Frida Agung Rohmadi, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Ketua Program Studi Fisika.
4. Ibu Fathonah Dwi Rahayu, M.Si dan Ibu Asih Melati, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
5. Joko Purwanto M.Sc dan Tatik Juwariyah M.Sc selaku Dosen Penguji Skripsi.
6. Puji Irawati atas masukan tentang *software* STARS dan kiriman jurnalnya.
7. Para Dosen Program Studi Fisika yang telah memberikan ilmunya kepada saya, semoga bermanfaat dunia dan akhirat.
8. Teman-teman Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga angkatan 2009.

Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga Allah memberikan balasan yang terbaik atas segala bantuan yang telah diberikan, dan semoga dicatat oleh Allah sebagai amal ibadah, Amien.

Penulisan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis mohon kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca. Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya, dan bernilai ibadah di sisi Allah, *Amien ya Rabbal Alamien*.

Yogyakarta, Desember 2013

Penulis

DAFTAR KONSTANTA ASTROFISIKA

No	Lambang	Nama	Nilai & Satuan
1	c	Kecepatan Cahaya	2.997925×10^8 m/s
2	G	Konstanta Gravitasi	6.6732×10^{-11} Nm ² /kg ²
3	M_{\odot}	Massa Matahari	1.9891×10^{30} kg
4	R_{\odot}	Jari-jari Matahari	6.9598×10^8 m
5	L_{\odot}	Luminositas Matahari	3.83×10^{33} erg/s
6	E_{\odot}	Fluks Energi Matahari	1.9162×10^{45} erg
7	h	Konstanta Planck	6.6262×10^{-27} erg s
8	σ	Konstanta Stefan-Boltzmann	5.6696×10^{-5} erg/cm ² K ⁴ s
9	k	Konstanta Boltzmann	1.3806×10^{16} erg/K
10	ρ_{\odot}	Rapat Massa Matahari	1.392 g/cm ³
11	κ	Koefisien Absorpsi	Partikel/cm ²
12	p	Tekanan	N/m ² (dyne/cm ²)
13	ε	laju pembangkitan energi	Erg/s
13	γ	Konstanta Laplace	5/3 untuk gas sempurna

DAFTAR LAMBANG DAN ISTILAH

No	Lambang	Arti	Besaran
1	$M_1, M_2,$	Massa bintang primer dan bintang sekunder	M_{\odot}
2	M	Massa total sistem	M_{\odot}
3	R_1, R_2	Jari-jari bintang primer dan bintang sekunder	R_{\odot}
4	R_R	Jari-jari <i>Roche lobe</i>	R_{\odot}
5	R_{M_1}	Jarak bintang 1 terhadap pusat massa	AU
6	R_{M_2}	Jarak bintang 2 terhadap pusat massa	AU
7	a	Separasi sebelum transfer massa	AU
8	\dot{a}	Separasi setelah transfer massa	AU
9	P	Periode sebelum transfer massa	Hari
10	\dot{P}	Periode setelah transfer massa	Hari
11	J	Momentum sudut orbital sebelum transfer massa	-
12	j	Momentum sudut orbital setelah transfer massa	-
13	M_J	Massa Jeans	M_{\odot}
14	R_J	Panjang atau kriteria Jeans	R_{\odot}
15	L_n	Titik <i>Lagrange</i> (n=1,2,...)	-
16	η_R	Angin Bintang Reimers	0-1
17	X	Jumlah hidrogen dalam 1 gram materi	gram
18	X_C	Jumlah karbon dalam 1 gram materi	gram
19	Y	Jumlah helium dalam 1 gram materi	gram
20	Z	Jumlah metal dalam 1 gram materi	gram
21	q	Rasio massa (M_1 / M_2)	-
22	μ	Berat molekul rata-rata gas	gm/s ²
23	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \nu$	Konstanta pembangkit energi	-
24	ω	Kecepatan sudut orbital	rad/s

PEMODELAN STRUKTUR DAN EVOLUSI SISTEM BINTANG GANDA DEKAT TIPE ALGOL

M. Abu Kamal
09620025

ABSTRAK

Bintang ganda dekat tipe Algol merupakan sistem bintang ganda gerhana (*eclipsing binaries stars*) yang mengalami paradoks Algol. Paradoks Algol adalah penyimpangan realita evolusi bintang terhadap teori evolusi yang diakui secara umum. Paradoks ini sebagai akibat adanya transfer massa yang terjadi dari bintang primer ke bintang sekunder. Selain itu, selubung bersama kedua bintang (*Roche lobe*) pada sistem ini tergolong *semi detached* yakni massa bintang primer sudah memenuhi permukaan ekipotensialnya.

Pemodelan struktur dan evolusi bintang ganda dekat tipe Algol dilakukan dengan menggunakan program STARS versi Eggleton (1995). Tujuan pemodelan ini adalah untuk mengetahui struktur dan jejak evolusi serta efek transfer massa terhadap parameter fisis bintang ganda dekat tipe Algol. Pada pemodelan ini diambil sampel bintang ganda RY Persei dan bintang ganda DN Orionis. Pemodelan ini dilakukan dengan memecahkan keempat persamaan struktur bintang secara serempak dengan input program berupa massa progenitor bintang primer, massa total sistem, periode orbit dan metalisitas bintang. Selain itu, pada pemodelan ini juga digunakan parameter angin bintang model Reimers (η_R) dengan nilai 0.0 dan 0.5.

Pemodelan ini menghasilkan model struktur dan evolusi bintang. Model struktur ditunjukkan oleh grafik pemecahan keempat persamaan struktur bintang sebagai fungsi massa (fase *Zero Age Main Sequence* (ZAMS) dan *Main Sequence* (MS)) dan sebagai fungsi jari-jari (fase setelah deret utama). Sedangkan model evolusi ditunjukkan oleh diagram HR yang menyatakan jejak evolusi bintang. Fase evolusi bintang RY Persei meliputi: ZAMS, MS, *Sub Giant Branch* (SGB), *Red Giant Branch* (RGB), *Horizontal Branch* (HB), *Asymptotic Giant Branch* (AGB), *Planetary Nebulae* (PN), *White Dwarf* (WD) kemudian menjadi bintang Helium. Sedangkan untuk bintang DN Orionis fase evolusinya mirip dengan fase evolusi matahari yakni ZAMS, MS, SGB, RGB, AGB, PN, WD kemudian menjadi katai coklat. Penggunaan angin bintang Reimers ($\eta_R = 0.5$) menyebabkan fase evolusi bintang semakin cepat dan umur bintang menjadi lebih pendek. Transfer massa ini menyebabkan periode dan separasi kedua bintang bertambah sedangkan momentum sudut orbital berkurang.

Kata Kunci: *Struktur Bintang - Evolusi Bintang - Semi Detached – Tipe Algol, Transfer Massa, Roche Lobe- Stars Eggleton*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR KONSTANTA ASTOFISIKA	x
DAFTAR LAMBANG DAN ISTILAH	xi
ABSTRAK	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah Penelitian	4
1.4 Rumusan Masalah Penelitian.....	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Struktur bintang	9

2.2.1.1	Keseimbangan Hidrostatik	9
2.2.1.2	Persamaan Hantaran Energi	10
2.2.1.3	Keseimbangan Energi	12
2.2.1.4	Kesinambungan Massa	12
2.2.2	Evolusi Bintang	13
2.2.2.1	Kelahiran Bintang.....	13
2.2.2.2	Evolusi Bintang Deret Utama	16
2.2.2.3	Evolusi Bintang Pasca Deret Utama	19
2.2.2.4	Evolusi Bintang Ganda Dekat	20
2.2.3	Bintang Ganda	22
2.2.3.1	Macam-macam Bintang Ganda	22
2.2.3.2	Profil bintang ganda RY Persei dan DN Orionis	25
2.2.3.2.1	Profil bintang ganda RY Persei	25
2.2.3.2.2	Profil bintang ganda DN Orionis	27
2.2.3.3	Pengamatan Bintang Ganda Dekat	28
2.2.3.3.1	Efek Doppler.....	28
2.2.3.3.2	Kurva Cahaya	30
2.2.4	Dinamika Bintang Ganda	31
2.2.4.1	Orbit Bintang Ganda	31
2.2.4.1.1	Orbit Lingkaran.....	31
2.2.4.1.2	Orbit Elips	35
2.2.4.2	Potensial Roche (<i>Roche Lobe</i>)	37
2.2.4.3	Transfer Massa	39
2.2.4.3.1	Transfer Massa Konservatif.....	39
2.2.4.3.2	Transfer Massa Non konservatif	41
2.3	Bintang Dalam Al-Qur'an	43
BAB III METODE PENELITIAN.....		47
3.1	Jenis dan alat penelitian	47
3.2	Prosedur Penelitian	47
3.2.1	Data Bintang	48
3.2.2	<i>Software STRAS</i>	48
3.2.2.1	Input <i>Software STRAS</i>	49
3.2.2.2	Output <i>Software STRAS</i>	56
3.2.3	Plotting	57
BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....		58
4.1	Model Struktur dan Evolusi Bintang	58
4.1.1	Model Struktur dan Evolusi Bintang Ganda RY Persei....	58
4.1.2	Model Struktur dan Evolusi Bintang Ganda DN Orionis .	84

4.2 Efek Transfer Massa	91
4.3 Al-Qur'an Tentang Evolusi Bintang	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	96
5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran Penelitian Lanjutan	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN-LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Perkiraan Evolusi DN Orionis	7
2.2 Harga tetapan pada rumus hampiran pembangkitan energi	19
2.3 Parameter bintang ganda RY Persei.....	26
2.4 Koordinat bintang ganda RY Persei.....	26
2.5 Parameter bintang ganda DN Orionis	27
2.6 Koordinat bintang ganda DN Orionis	27
3.1 Komposisi kimia bintang berdasarkan Tayler.....	54
4.1 Tabel struktur bintang primer RY Persei fase MS.....	60
4.2 Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase SGB	60
4.3 Tabel struktur bintang primer RY Persei fase SGB	65
4.4 Tabel struktur bintang primer RY Persei fase RGB.....	67
4.5 Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase RGB.....	68
4.6 Tabel struktur bintang primer RY Persei fase HB	70
4.7 Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase HB.....	71
4.8 Tabel struktur bintang primer RY Persei fase AGB.....	73
4.9 Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase AGB.....	74
4.10 Tabel struktur bintang primer RY Persei fase PN.....	76
4.11 Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase PN.....	78
4.12 Tabel struktur bintang primer RY Persei fase WD	79
4.13 Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase WD	81
4.14 Komposisi kimia bintang primer RY Persei akhir time step ...	82

4.15 Ringkasan periode transfer massa bintang primer RY Persei ..	83
4.16 Tabel struktur bintang primer DN Orionis fase MS	85
4.17 Tabel struktur bintang primer DN Orionis fase SGB.....	86
4.18 Tabel struktur bintang primer DN Orionis fase RGB	87
4.19 Tabel struktur bintang primer DN Orionis fase AGB	88
4.20 Tabel struktur bintang primer DN Orionis fase PN	89
4.21 Tabel struktur bintang primer DN Orionis fase WD.....	90
4.22 Ringkasan periode transfer massa bintang primer DN Orionis	91
4.23 Efek transfer massa bintang ganda RY Persei	92
4.24 Efek transfer massa bintang ganda DN Orionis	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Materi antar bintang yang disebut nebula	13
2.2	Jejak evolusi bintang pra deret utama	16
2.3	Struktur kulit bawang: fusi bintang	20
2.4	Bintang ganda dekat berdasarkan <i>Rochelobnya</i>	24
2.5	Perrgeseran merah garis-garis Absorbsi	29
2.6	Kurva cahaya bintang ganda Algol	31
2.7	Orbit lingkaran bintang ganda	32
2.8	Orbit elips bintang ganda	35
2.9	<i>Roche lobe</i> bintang ganda	38
3.1	Tampilan awal <i>software</i> STARS	48
3.2	Tampilan file <i>evol.dat</i>	49
3.3	Tampilan file <i>fort.20</i>	49
3.4	Diagram alir penelitian	56
4.1	Diagram HR bintang primer RY Persei	58
4.2	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase ZAMS	59
4.3	Model struktur bintang primer RY Persei fase MS	61
4.4	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase MS	62
4.5	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase SGB	64
4.6	Model struktur bintang primer RY Persei fase SGB	65
4.7	Model struktur bintang primer RY Persei fase RGB	67

4.8	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase RGB.....	68
4.9	Model struktur bintang primer RY Persei fase HB.....	70
4.10	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase HB	72
4.11	Model struktur bintang primer RY Persei fase AGB	73
4.12	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase AGB	75
4.13	Model struktur bintang primer RY Persei fase PN	77
4.14	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase PN.....	78
4.15	Model struktur bintang primer RY Persei fase WD.....	80
4.16	Komposisi kimia bintang primer RY Persei fase WD	81
4.17	Komposisi kimia bintang primer RY Persei Usia 89.06 J....	82
4.18	Diagram HR bintang primer DN Orionis.....	84
5.1	Model struktur bintang primer RY Persei fase MS	94
5.2	Model struktur bintang primer RY Persei fase MS	95
5.3	Komposisi bintang primer fase SGB	95
5.4	Diagram HR bintang primer DN Orionis dan RY Persei	96

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 File input dan Output	103
Lampiran 2 Struktur RY Persei	111
Lampiran 3 Evolusi RY Persei dengan angin bintang 0.0	114
Lampiran 4 Evolusi RY Persei dengan angin bintang 0.5	115
Lampiran 5 Grafik Struktur DN Orionis	116
Lampiran 6 Klasifikasi Bintang Berdasarkan Spektrum	121
Lampiran 7 <i>Curriculum Vitae</i>	125

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Melalui Al-Qur'an, Allah menganjurkan kepada manusia supaya mengadakan pengkajian, penelitian dan pengamatan terhadap fenomena alam yang ada di langit dan di bumi. Dengan melakukan hal tersebut diharapkan manusia bisa mengambil manfaat sebesar-besarnya untuk meningkatkan keimanan dan ketaqwaan kepada Allah, serta untuk memenuhi kebutuhan dan meningkatkan kesejahteraan hidup. Sebagaimana firman Allah:

قُلْ أَنْظُرُوا مَاذَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا تُغْنِي الْآيَاتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ
لَا يُؤْمِنُونَ ﴿١٠١﴾

“katakanlah, “perhatikan apa-apa yang ada di langit dan di bumi”. Dan tidaklah bermanfaat tanda-tanda kekuasaan Allah dan Peringatan para Rasul bagi orang-orang yang tidak beriman” (QS. Yunus: 101).

Ayat di atas berisikan perintah agar manusia memperhatikan dan mengkaji fenomena yang ada di langit dan fenomena yang ada di bumi. Salah satu contoh fenomena yang ada di langit adalah bintang-bintang yang bersinar. Bintang beserta benda langit lainnya merupakan salah satu ayat kauniyah yang nyata dan menunjukkan kekuasaan Allah. Di dalam Al-Qur'an setidaknya terdapat 23 ayat yang menyebutkan benda langit yang satu ini beserta fungsinya (Maraghi, 1987).

Pengamatan bintang dari bumi dengan teleskop hanya dapat mencapai bagian luar bintang saja. Pengetahuan tentang bintang tidak akan lengkap tanpa mengetahui sifat fisis di dalam bintang. Oleh karena itu, astronom berusaha membuat teori model struktur bintang. Teori model bintang yang dipaparkan astronom belum tentu benar. Hanya saja, jika model struktur bintang dari teori tersebut berkelakuan sesuai dengan yang diamati, maka kemungkinan besar model yang dipilihnya sudah berada pada arah yang benar. Struktur bintang ditentukan oleh empat konsep persamaan fisis. Keempat konsep tersebut adalah persamaan kesetimbangan hidrostatik, persamaan hantaran energi, persamaan pembangkitan energi, dan persamaan kesinambungan massa dalam bintang.

Pada hakikatnya kehidupan bintang sama dengan kehidupan makhluk hidup di bumi. Bintang dilahirkan di dalam awan antar bintang (*nebula*), kemudian berkembang dan pada akhirnya cahayanya akan padam (mati). Tahapan-tahapan inilah yang kemudian disebut evolusi bintang. Evolusi bintang ini merupakan akibat adanya perubahan struktur dalam bintang. Pada bintang tunggal evolusi bintang hanya dipengaruhi oleh massa dan komposisi kimianya. Bintang yang bermassa besar tahapan evolusinya lebih cepat dari pada bintang yang bermassa kecil. Begitu pula tahapan evolusi bintang yang lahir dari sisa-sisa ledakan bintang cenderung lebih cepat dari pada bintang yang lahir dari *nebula* karena unsur beratnya lebih besar (Kutner, 2003).

Evolusi bintang ganda (*binary stars*) khususnya bintang ganda dekat (*close binary stars*) berbeda dengan evolusi bintang tunggal. Gravitasi yang

ditimbulkan oleh pasangan bintang berperan penting dalam proses evolusi keduanya. Setidaknya ada tiga hal yang perlu diperhitungkan dalam evolusi bintang ganda dekat, yaitu massa total sistem, periode orbit dan rasio massa. Ketiga parameter tersebut dapat berubah selama proses evolusinya.

Berdasarkan data hasil pengamatan bintang ganda, kebanyakan bintang yang massanya lebih besar masih berada di deret utama sedangkan bintang yang massanya lebih kecil sudah meninggalkan deret utama. Peristiwa ini bertentangan dengan paham evolusi bintang yang telah dijabarkan di atas. Kenyataan inilah yang kemudian dikenal dengan paradoks Algol. Sistem bintang yang mengalami paradoks Algol disebut bintang ganda dekat tipe Algol. Penjelasan mutakhir tentang paradoks Algol adalah adanya fenomena transfer massa pada pasangan sistem bintang ganda tersebut. Transfer massa ini terjadi melalui sebuah titik yang merupakan pertemuan selubung bersama (*Roche lobe*) kedua bintang dan disebut dengan titik *langrange* pertama (L_1).

Pemahaman tentang struktur dan evolusi bintang ganda dekat tipe Algol tidaklah mudah karena banyak parameter yang berpengaruh terhadap keduanya yang nilainya belum pasti. Parameter-parameter ini diantaranya tekanan internal, densitas, temperatur inti, koefisien absorpsi dan koefisien laju pembangkitan energi. Kesulitan untuk menentukan nilai parameter-parameter ini akan sedikit teratasi dengan pemodelan menggunakan *software* struktur dan evolusi bintang. Salah satu contoh *software* struktur dan evolusi bintang adalah STARS yang dirancang oleh P.P Eggleton pada tahun 1970.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang muncul dalam pokok bahasan penelitian ini meliputi:

1. Pengamatan terhadap bintang hanya dapat mencapai bagian permukaan bintang sehingga fenomena fisis yang terjadi di bagian dalam bintang tidak diketahui.
2. Adanya kesulitan dalam memecahkan persamaan struktur bintang karena banyak parameter fisis bintang yang nilainya belum pasti.
3. Adanya penyimpangan realita evolusi bintang ganda dekat tipe Algol terhadap teori evolusi bintang yang sudah diakui secara umum.

1.3 Batasan Masalah Penelitian

Objek dan kajian tentang sistem bintang ganda dekat tipe Algol sangat luas, maka perlu adanya batasan-batasan dalam penelitian. Batasan pada penelitian ini adalah:

1. Skenario pemodelan sistem bintang ganda dekat tipe Algol menggunakan *software* STARS dengan mengambil asumsi bintang ganda berevolusi secara konservatif dan non konservatif.
2. Data bintang Algol yang digunakan sebagai acuan diambil dari paper yang berjudul “*A Complete Survey Of Case A Binary Evolution With Comparison To Observed Algol-Type Systems*” yang ditulis C. A. Nelson dan P. P. Eggleton, dan paper berjudul “*The Evolution of Cool Algols*” yang ditulis oleh P. P. Eggleton dan Ludmila Kiseleva Eggleton.

3. Bintang ganda tipe Algol yang dikaji pada penelitian ini hanya dua yaitu DN Orionis (HD 40632 = HIP 28456) dan RY Persei (HD 17034 = HIP 12891). Pengambilan dua sistem bintang ganda ini sebagai sampel dikarenakan data parameter awal kedua bintang ini sangat lengkap berdasarkan perkiraan Eggleton.

1.4 Rumusan Masalah Penelitian

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana struktur dan jejak evolusi sistem bintang ganda dekat tipe Algol RY Persei dan DN Orionis?
2. Apakah ada pengaruh transfer massa terhadap besaran fisis sistem bintang ganda dekat tipe Algol RY Persei dan DN Orionis?

1.5 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui struktur dan jejak evolusi sistem bintang ganda dekat tipe Algol RY Persei dan DN Orionis.
2. Mengetahui efek transfer massa terhadap parameter fisis sistem bintang ganda dekat tipe Algol RY Persei dan DN Orionis.

1.6 Manfaat Penelitian

Bagi peneliti dan sahabat-sahabat yang tertarik terhadap astrofisika penelitian ini akan memberi manfaat dalam bentuk pemahaman terhadap

struktur dan evolusi bintang khususnya bintang ganda dekat tipe Algol RY Persei dan DN Orionis serta fenomena fisis yang terjadi selama proses evolusinya. Di samping itu, pemodelan ini juga bisa mengisi bagian-bagian dari evolusi bintang yang tidak sempat teramati.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bagian utama yaitu pendahuluan, landasan teori, metode penelitian, hasil dan analisis serta penutup. Berikut gambaran umum isi kelima bagian tersebut:

1. Bab I Pendahuluan terdiri dari latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah penelitian, rumusan masalah penelitian, tujuan, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.
2. Bab II Landasan Teori terdiri dari tinjauan pustaka dan dasar teori. Bab II menjadi dasar untuk bab IV terkait struktur dan evolusi bintang.
3. Bab III Metode Penelitian berisi uraian prosedur kerja, input dan output *software* STARS serta plotting.
4. Bab IV Hasil dan Analisis berisi hasil pemodelan struktur dan evolusi bintang ganda RY Persei dan DN Orionis serta efek transfer massa terhadap parameter fisis bintang.
5. Bab V Penutup berisi kesimpulan dan saran penelitian lanjutan.

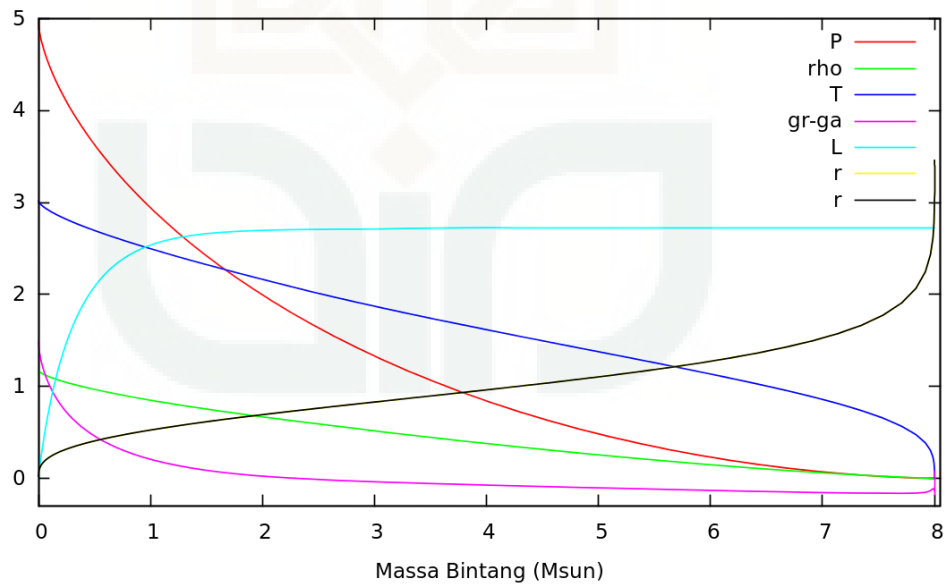
BAB V

PENUTUP

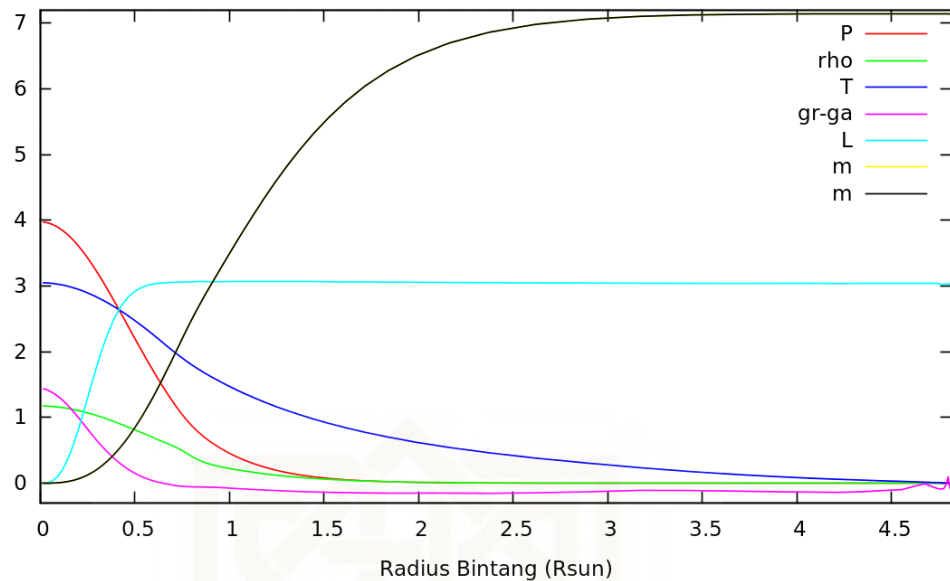
5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pada bab IV, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada fase ZAMS dan MS, keempat persamaan struktur bintang dipecahkan sebagai fungsi massa. Sedangkan untuk fase evolusi selanjutnya keempat persamaan tersebut dipecahkan sebagai fungsi jari-jari. Berikut adalah contoh model struktur bintang sebagai fungsi massa dan sebagai fungsi jari-jari:

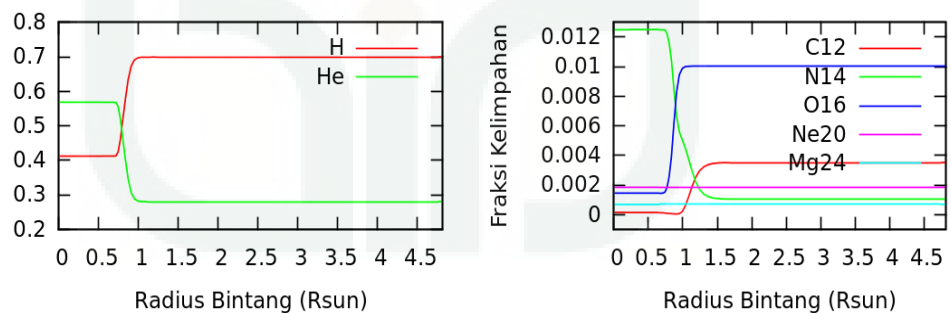


Gambar 5.1 Model struktur bintang primer RY Persei pada fase MS. Tekanan P dinyatakan dalam 10^{16} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K. Densitas ρ dalam 10 g/cm³. Luminositas dinyatakan dalam $10^3 L_{\odot}$.



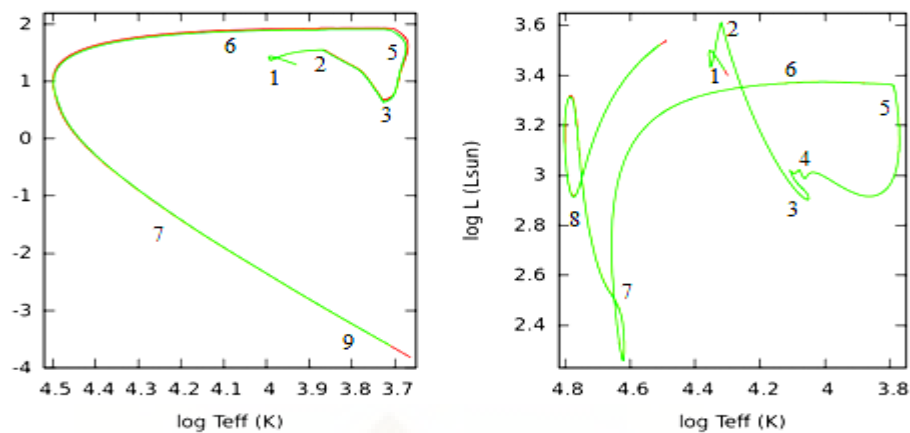
Gambar 5.2 Model struktur bintang primer RY Persei pada fase SGB. Tekanan P dinyatakan dalam 10^{16} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K. Densitas ρ dalam 10 g/cm³. Luminositas dinyatakan dalam $10^3 L_{\odot}$.

Selain model untuk struktur utama, juga dapat dilihat komposisi kimia sesuai tahapan evolusi bintang tersebut sebagaimana gambar berikut:



Gambar 5.3 Komposisi kimia bintang primer pada fase *sub giant branch*.

Sedangkan untuk model evolusi bintang dinyatakan dalam bentuk diagram HR yang merupakan jejak evolusi bintang. Berikut adalah diagram HR untuk bintang primer DN Orionis dan RY Persei:



Gambar 5.4 Diagram HR bintang primer pada sistem bintang ganda DN Orionis (kiri) dan RY Persei (kanan). Garis merah dievolusikan dengan angin bintang Reimers $\eta = 0.0$.

Sedangkan garis hijau dievolusikan dengan angin bintang Reimers $\eta = 0.5$.

Keterangan angka pada diagram HR:

1. *Zero age main sequence* (ZAMS) dan *main sequence* (MS)
 2. *Sub giant branch* (SGB)
 3. *Red giant branch* (RGB)
 4. *Horizontal branch* (HB)
 5. *Asymptotic giant branch* (AGB)
 6. *Planetary nebulae* (PN)
 7. *White dwarf* (WD/katai putih)
 8. Bintang Helium
 9. *Brown dwarf* (BD/katai coklat)
2. Transfer massa yang terjadi pada bintang primer menyebabkan separasi (jarak) dan periode kedua bintang bertambah. Sedangkan momentum sudut bintang primer berkurang.

5.2 SARAN PENELITIAN LANJUTAN

Pemodelan struktur dan evolusi sistem bintang ganda dekat tipe Algol menggunakan program STARS hanya menghasilkan output berupa struktur dan evolusi untuk bintang primer. Sedangkan struktur dan evolusi bintang sekunder tidak ditampilkan. Karena yang ditinjau adalah sistem bintang ganda maka untuk pekerjaan selanjutnya, sebaiknya menggunakan program yang mampu menghasilkan output secara simultan untuk kedua bintang. Salah satu contoh program struktur dan evolusi bintang yang mampu mengevolusikan kedua bintang secara simultan adalah TWIN. Program ini merupakan hasil pengembangan dari program STARS yang dapat mengevolusikan kedua bintang dalam sistem secara simultan sehingga hasil akhir yang diperoleh lebih mendekati proses sebenarnya.

Selain itu, sistem bintang ganda dekat yang ada di dunia sangatlah banyak. Sehingga sangat perlu adanya penambahan jumlah model bintang yang dievolusikan agar lebih mendekati kenyataan (real) bintang yang ada di dunia. Di samping itu, untuk bintang bermassa besar akan lebih cocok menggunakan model angin bintang de Jagger dari pada menggunakan model angin Reimers. Hal itu disebabkan adanya kecenderungan bintang besar dengan angin bintang yang besar pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Admiranto, A Gunawan. 2009. *Menjelajahi Bintang, Galaksi, dan Alam Semesta*. Yogyakarta: Kanisius
- An Najjar, Zaghlul. 2011. *Sains dalam Hadis, Mengungkap Fakta Ilmiah dari Kemukjizatan Hadis Nabi*. Jakarta: Amzah
- Beiser. A., 1992. *Konsep Fisika Modern*, Edisi keempat. Jakarta: Erlangga
- Bucaille, Maurice. 2001. *Bibel, Quran dan Sains Modern*. Diterjemahkan oleh Rasjidi. Jakarta: Bulan Bintang
- Chandrasekhar. S, 1938. *An Introduction to Study of Stellar Structure*. Chicago: The Univesity of Chicago Press
- Demircan, O. Eker, Z., Karatas, y., & Bilir, S., 2006, MNRAS, 366, 1511
- Eggleton, Peter P. dan Ludmila Kiseleva. 2002. *The Evolution Of Cool Algols*. USA. The Astrophysical Journal. Vol 575:461-473.
- Eggleton, Peter P. 2006. *Evolutinary Processes in Binary and Multiple Stars*. New York: Cambridge University Press
- Eggleton, Peter P. 1995. *Programme STARS*. Cambridge: Institute of Astronomy.
- Greve, De J.P. dan Packet, W.. 1989. *Reversals of mass transfer in algol binaries*. Astronomy and Astrophysics vol 230 hal 97-102 (1990)
- Hilditch, R. W.2001. *An introduction to close binary stars*. New York: Cambridge University Press
- Irawati, Puji. 2008. *Sintesis Populasi Cataclysmic Variable Pada Fase Post Common Envelope Menggunakan Angin Bintang dan Evolusi Horizontal Branch*. Bandung: ITB
- Karttunen, Hannu. 2007. *Fundamental Astronomy*. New York: Springer

- Kopal, Zdenek. 1977. *Dynamics of Close Binary Systems*. Boston: D Reidel Publishing
- Krane. S.K., 1987. *Introductory Nuclear Physics*. New York: Cambridge University press
- Kutner, Marc L. 2003. *Astronomy A Physical Perspective*. New York: Cambridge University press
- Maraghi, Syekh Musthafa Ahmad al. 1987. *Tafsir al-Maraghi*. Semarang: Toha Putra
- Nelson, C. A dan Eggleton, Peter P. 2001. *A complete survey of case A binary evolution with comparison to observed Algol-type systems*. The Astrophysical Journal, vol 552:664-678
- Purwanto, Agus. 2008. *Ayat-Ayat Semesta: Sisi-Sisi Alquran yang Terlupakan*. Bandung: Mizan
- Sulaiman, Ahmad Mahmud. 2001. *Tuhan dan Sains: Mengungkap Berita-Berita Ilmiah Alquran*. Jakarta: Serambi Ilmu Pustaka
- Sutantyo, Winardi. 1984. *Astrofisika Mengenal Bintang*. Bandung: ITB
- Tayler, Roger John. 1994. *The Stars: Their Structure and Evolution*. New York: Cambridge University press
- Warner, Brian D. 2006. *A Practical Guide to Lightcurve Photometry and Analysis*. New York: Springer
- Wen Cong dan Xiang Dong Li. 2006. *Orbital Evolution Of Algol Binaries With A Circumbinary disk*. The American Astronomical society. Vol 649:978-978.
- Yakut, Kadri. 2006. *An observational study of unevolved close binary stars*. Leuven. Katholieke Universiteit Leuven Faculteit Wetenschappen

Yakut, Kadri dan Eggleton, Peter. 2005. *Evolution of close binary systems*. The American Astronomical society. The Astrophysical Journal

Ziółkowski, J. 1968. *Evolution of Close Binaries and Origin of Algol Type Systems*. Astrophysics and Space Science 3 (1969). hal 14-30



Lampiran I

1. File Input

File Evol.dat:

```
evol.dat *
INPUT: mod02p2.70  JOBID: 000200
IOSC: 0  IRLO: 1  IGR: 1  IMB: 1  IED: 1  IDS: 0
IVL1: 0  IVL2: 0  VL1: 1.4000  VL2: 0.0000  FRML: .000  FRAL: .000
NMOD: 1  FM1: 02.200000  FMT: 03.600000  ANGM: -.14200E+01
```

File fort.20

```
evol.dat *  fort.20 *
200 15 10 11 11 3 0 0 1 1 1
2 2 1 1 0 100
1.0E-09 1.0E-02 1.0E-07 0.1E+00 1.0D-00
5 1 0 3 1 30 0 0 0 99
1 2 4 10 8 7 6 0 0 0 0 0 0 0 0
9 4 2 1 3 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 2 3 1 2 3 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 3 4 5 8 9 10 11 18 17 12 13 14 15 16
1 4 8 9 10 11 12 13 14 15 16 19 20 21 22
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1.00 1.00 0.00 0.00 0.05 0.05 0.15 0.02 0.45 1.0E-04 1.0E+15 2.0E+04
2.00E-02 2.000 0.700 0.176 0.052 0.502 0.092 0.034 0.072 0.072
1.00E+06 0.00E-00 0.00E-00 0.00E-00 1.00E-00 0.10E-00 0.01E+00 mass const
1.00E+03 0.00E-00 1.00E-00 0.00E+00 1.00E+00 0.00E-09 0.00E-00
Above is for ZAMS construction, with reduced size conv. core (Z=.02, X=.70).
```

- 1 NH2 ITER1 ITER2 JIN JOUT NCH JP ITH IX IY IZ
- 2 NWRT1 NWRT2 NWRT3 NWRT4 NWRT5 NSAVE
- 3 EPS DEL DHO DT3 DDD
- 4 NE1 NE2 NE3 NB NEV NF J1 J2 IH JH
- 5 ID(30) – 3 baris
- 6 NE1 NE2 NE3 NB NEV NF J1 J2 IH JH
- 7 ID(90) – 3 baris
- 8 ISX(45) – 3 baris
- 9 DT1 DT2 CT(10)
- 10 ZS ALPHA CH CC CN CO CNE CMG CSI CFE
- 11 RCD OS RML RMG ECA XF DR
- 12 RMT RHL AC AK1 AK2 ECT TRB

Lampiran I

Keterangan Evol.dat:

IOSC	: Stellar oscillation (0 dan 1)
IRLO	: Roche lobe overflow (0 dan 1)
IGR	: Orbital angular momentum (0 dan 1)
IMB	: Magnetic braking (0 dan 1)
IED	: Eddington limit/mass loss from system (0 dan 1)
IDS	: Tidal dissipation ((0 dan 1)
FRML	: Fraction of mass loss
FRAL	: Accretion luminosity

Keterangan Fort.20:

NH2	: The desired number of mesh points. If different from that in modin, the code interpolates the given model to give the new one, provided that NCH is greater than or equal to 1.	(199)
ITER	: The maximum number of iterations allowed on the first timestep.	(10)
ITER2	: The maximum number of iterations allowed on later timesteps.	(10)
JIN	: The number of independent variables of the H and DH arrays to be read in.	(15)
JOUT	: The number of independent variables written to output models.	(15)
NCH	: Determines how the model is re-meshed. If NCH=1, the mesh is fixed. If NCH=2, the mesh is allowed to vary but the composition is not modified. If NCH=3, the mesh is allowed to vary and, on the first step, the composition is reset to the values specified in data.	(1,2,3)

Lampiran I

- JP : Determines whether the last set of corrections to the previous model is used as the first correction to the current model. If JP=0, the corrections are reset to zero. If JP=1, the last set of corrections to the previous model is used as the first correction to the current model. (1)
- ITH : The thermal energy generation rate is $ITH \times T \partial s / \partial t$. Setting ITH to zero means $T \partial S / \partial t$ is ignored. i.e. there is no thermal evolution of the star. This is sometimes useful when creating new models. (1)
- IX : Determines whether hydrogen is converted into helium. If IX=0, hydrogen is not converted into helium but the energy produced by the nuclear reactions is still included. If IX=1, hydrogen is converted into helium normally. (1)
- IY : As for IX but controls alpha-burning. (1)
- IZ : As for IX but controls carbon-burning. (1)
- NWRT1 : Prints the internal details of every NWRT1th model to out. (100)
- NWRT2 : Prints the internal details of every NWRT2th meshpoint when the internal model is printed to out. (1)
- NWRT3 : The number of 'pages' printed out for every NWRT1th (i.e. detailed) model. (1)
- NWRT4 : Prints a short summary of every NWRT4th model. (1)
- NWRT5 : Prints a one-line summary of each iteration of each model, excluding the first NWRT5 iterations of each model. 0 (2)
- NSAVE : An output model is saved to modout every NSAVEth timestep, in the same format as the input model, that can be used for a subsequent run. The final model is automatically saved. (100)
- EPS : The accuracy to which the equations are expected to be solved. EPS must be greater than DH0. i.e. you can't solve to a greater degree of accuracy than the derivatives. (10^{-6})

Lampiran I

- DEL : The maximum value in ERR for which the whole correction is applied by the solution subroutine. Above this limit, the correction is reduced by a factor of ERR/DEL. (0.01)
- DH0 : Affects the value of the increments of the variables during the numeric differentiation. It is no longer so important, now that everything is in double precision. (10^{-7})
- DT3 : No current function.
- DDD : Sets the modulus of the total increment that is desired in one timestep. (0.5–4)
- NE1 : The number of 1st order equations that the code uses. (6)
- NE2 : The number of 2nd order equations that the code uses. (5)
- NE3 : This defines a subset of the 1st order equations that may be defined at 3, rather than two, adjacent meshpoints. At present, this is not implemented in the code. (0)
- NB : The number of boundary conditions possessed by the 1st order equations at the stellar surface. (3)
- NEV : The number of ‘eigenvalues’ (i.e. quantities that don’t vary with the mesh) used by the model. This is usually the mesh spacing function. (1)
- NF : The number of variables being passed into the equns routines. (30)
- J1, J2, IH, JH : Variables for debugging. A suitable choice gives an output via printc that can be used to see if funcs and equns are setting up the difference equations correctly. The default values suppress debugging output. (0,0,0,99)
- ID(90) : There are two blocks of numbers for ID: one for the evolution package (funcs1, equns1) and the other for the nucleosynthesis package (funcs2, equns2). Together with the preceding line (containing NE1, NE2, NB, NEV, NF, J1, J2, IH, JH), these define in what order the variables are solved for (first line), in what order the equations are solved (second line) and in what order the boundary conditions are solved (third line). For the evolution of single stars the usual values are:

Lampiran I

```

1 2 4 5 3 9 10 8 7 6 0 0 0 0 0
6 7 8 9 4 2 1 3 5 0 0 0 0 0 0
4 5 6 7 2 3 1 2 3 1 0 0 0 0 0

```

ISX(45) : 3 lines of 15 numbers that determine which variables of the internal structure are printed to out. The first 15 values define what will be placed on the first ‘page’, with the next two sets of 15 defining the output to the extra pages. The options are:

- | | | | |
|---|--------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1. ψ | 10. H | 19. Eth | 28. S |
| 2. P | 11. He | 20. E _{nu} c | 29. L/LE _{dd} |
| 3. ρ | 12. C | 21. E _v | 30. μ |
| 4. T | 13. N | 22. δ _m | 31. μ ideal |
| 5. κ | 14. O | 23. k ₂ | 32. σ thermohaline |
| 6. ∇ | 15. Ne | 24. n/(n + 1) | 33. E _{bind} |
| 7. ∇ _{ad} | 16. Mg | 25. U _{hom} | 34. $\beta = \text{Prad}/\text{Ptot}$ |
| 8. ∇ _{rad} – ∇ _{ad} | 17. r | 26. V _{hom} | |
| 9. m | 18. L | 27. U | |

23 is the square of the radius of gyration; 24–26 are homology invariants.

DT1 : Places a lower limit of $\text{DT1} \times \Delta t$ on the the size of the next timestep, where Δt is the size of the current timestep. (0.8)

DT2 : Places an upper limit of $\text{DT2} \times \Delta t$ on the size of the next timestep. If both DT1 and DT2 are set to 1, the timestep is constant, unless the model fails to converge, in which case it is reduced by 20% for the next attempt at a solution. (1.2)

CT(10) : Coefficients used in the mesh spacing function, Q.

ZS : The stars metallicity. Make sure this matches the value in the opacity tables! (0.02)

ALPHA : The mixing length. The value chosen should be based on calibration to a solar model but the default value is not a calibrated value. (2.00)

Lampiran I

CH-CFE	: Values for initializing the abundances of 1H through to 56Fe of a model. The metals are expressed as a fraction of the total metallicity. These are only used for ZAMS models (or better still, pre-MS models) with NCH=3.	
RCD	: The diffusion coefficient for convective mixing is $RCD \times 2(\nabla - \nabla_{ad})/t_{nuc}$.	(106)
OS	: Convective overshoot parameter. Zero implies no overshoot.	0 (0.12)
RML	: Used to set the amount of Reimers (1975) mass loss. This value is the parameter η such that the mass loss rate is	
ECA	: Used in the evolution of EC. This is useful when creating pre-MS models.	(0)
XF	: Defines the boundary of a core, for printout purposes only, to be when the abundance equals XF.	0.1 (0.3)
DR	: Defines the boundary between a convection and semiconvection zone, for printout purposes only, to be at $\nabla - \nabla_{ad} = DR$.	(0.01)
RHL	: Defunct.	(0)
AC	: Defunct. 1.0	
AK1	: Used in the AGB mixing formula (see Stancliffe et al., 2004, for details). Sets β for the H-rich regions.	(1.0)
AK2	: Used in the AGB mixing formula. Sets for the H-poor regions.	(10 ⁻⁴)
ECT	: A constant logarithmic increase or decrease for EC (see Section 3.5), which can be used to push a ZAMS star back up its Hayashi track to make a pre-MS star.	0 (10 ⁻⁴)
TRB	: Used in setting the surface conditions of binaries. Effectively places the star in a radiation bath of temperature TRB.	(0)

Lampiran I

2. File Output

File ev

```

*ev.060709 ✖
  95 dt/age/MH/MHe tn/tKH/Mb P/r1f/dM LH/LHe/LC Lth/Lnu/m H1 He4 C12 N14 O16 Ne20 Mg24 psi dens temp
3.5000 7.689936190E+04 2.547E+08 2.000E+00 1.486E+02 4.783E-02 .69774 .28170 .00004 .00524 .00988 .00184 .00068 -3.567 1.5210 7.3972 cntr
.0000 1.601609989E+06 5.530E+05 -8.998E-01 3.940E-25 9.689E+00 .70000 .28000 .00352 .00104 .01004 .00184 .00068 -16.932 -9.0972 4.1339 srfc
.0000 2.4479 .9815 .0000 0.000E+00 0.000E+00 .0000 .69774 .28170 .00004 .00524 .00988 .00184 .00068 -3.567 1.5210 7.3972 Tmax
.0000 .000 -1.663 .704 3.500 -3.500 -3.500 3.500 3.500 -3.500 3.500 -3.500 .000 -1.5217 .0541 -.2279 .3333 2.1544 95

K m r rho T grad gr-ga H1 kappa ENUC L L/Led k**2 n/n+1 U V
199 7.062E-05 1.441E-02 3.313E+01 2.496E+07 3.884E-01 1.158E+00 6.970E-01 4.842E-01 2.993E+03 1.021E-01 5.394E-02 3.981E-01 6.061E-01 5.230E+02 1.543E+03
197 2.480E-04 2.195E-02 3.310E+01 2.494E+07 3.884E-01 1.152E+00 6.970E-01 4.845E-01 2.957E+03 3.565E-01 5.366E-02 3.993E-01 6.061E-01 1.873E+02 5.603E+02
195 5.367E-04 2.840E-02 3.305E+01 2.492E+07 3.884E-01 1.141E+00 6.970E-01 4.848E-01 2.915E+03 7.648E-01 5.322E-02 3.997E-01 6.061E-01 1.055E+02 3.162E+02
193 9.426E-04 3.427E-02 3.301E+01 2.490E+07 3.884E-01 1.129E+00 6.970E-01 4.852E-01 2.867E+03 1.330E+00 5.273E-02 3.998E-01 6.061E-01 7.036E+01 2.109E+02
191 1.472E-03 3.977E-02 3.295E+01 2.487E+07 3.884E-01 1.115E+00 6.970E-01 4.856E-01 2.815E+03 2.054E+00 5.219E-02 3.998E-01 6.061E-01 5.133E+01 1.538E+02
189 2.135E-03 4.503E-02 3.289E+01 2.484E+07 3.884E-01 1.101E+00 6.970E-01 4.860E-01 2.760E+03 2.943E+00 5.162E-02 3.997E-01 6.061E-01 3.958E+01 1.185E+02
187 2.941E-03 5.011E-02 3.283E+01 2.481E+07 3.885E-01 1.086E+00 6.970E-01 4.865E-01 2.701E+03 4.002E+00 5.101E-02 3.997E-01 6.061E-01 3.169E+01 9.480E+01
185 3.903E-03 5.509E-02 3.276E+01 2.478E+07 3.885E-01 1.070E+00 6.970E-01 4.870E-01 2.638E+03 5.238E+00 5.036E-02 3.996E-01 6.061E-01 2.606E+01 7.789E+01
183 5.035E-03 6.000E-02 3.269E+01 2.474E+07 3.885E-01 1.053E+00 6.970E-01 4.876E-01 2.572E+03 6.658E+00 4.967E-02 3.995E-01 6.060E-01 2.187E+01 6.530E+01
181 6.354E-03 6.486E-02 3.261E+01 2.470E+07 3.885E-01 1.035E+00 6.970E-01 4.882E-01 2.503E+03 8.269E+00 4.894E-02 3.993E-01 6.060E-01 1.864E+01 5.560E+01
  
```

File bev

```

evol.dat ✖ fort.20 ✖ ev.000045 ✖ bev.000045 ✖
INPUT: mod04p0.70 JOBID: 000045

  NMOD   TKH      TN      TML      TGR      TMB      dM_1/dt  dM_t/dt  ANGS
        AGE      M_1      M_t      RLF      I_mom    P_b      SEP      ANGT
  2 .98789960E+04 .4000E+01 .6670E+01 -.4932E+00 .1733E+01 .1720E+01 .7911E+01 .850176E-02
  .3764E+06 .2033E+09 -.2981E+10 .2831E+12 .0000E+00 .1342E-08 .1342E-08 .7328E-04
  .9383E+09 .0000E+00 -.9982E-02 .2475E-20 .200183E+01 .1817E-02 4 14 104 7 17 0
  .4143E+00 .0000E+00 .2311E+01 .4110E+01
  3 .18770092E+05 .4000E+01 .6670E+01 -.4934E+00 .1731E+01 .1720E+01 .7911E+01 .850165E-02
  .3758E+06 .2028E+09 .1998E+12 .2831E+12 .0000E+00 -.2002E-10 -.2002E-10 .7317E-04
  .9493E+09 .0000E+00 -.6294E-02 .2443E-20 .200143E+01 .1818E-02 4 14 104 7 17 0
  .4143E+00 .0000E+00 .2313E+01 .4111E+01
  
```

Lampiran I

File mod

```
evol.dat * fort.20 * ev.000045 * bev.000045 * ch.000045 * dia.000045 * mod.000045 *
3.999990E+00 6.693040E+04 1.181731583E+06 0.000000E+00 0.000000E+00 200 2000 100
-1.75255E+01 9.60689E+00 1.00400E-02 2.07397E+00 7.00000E-01 3.54744E-02 4.77001E-01 9.03572E+02 2.80000E-01 3.52000E-03 1.84000E-03
-2.32726E-04 -1.06983E-04 -9.01414E-53 -3.07853E-07 5.81194E-31 -1.71863E-07 1.90565E-04 -4.22918E-02 -1.46233E-29 -5.45478E-45 0.00000E+00
```

File dia

```
evol.dat * fort.20 * ev.000045 * bev.000045 * ch.000045 * dia.000045 *
JOBID: 000045 NMOD: 1 AGE: .000000E+00
MASS: 4.0000 Lg Tef: 4.1101 Lg L/Ls: .231E+01 Mdot: .00E+00
VLH: .212E+03 VLT: .000E+00 VLE: .457E-25 DTIDE: .000E+00 DA CL: .000E+00

k m r rho T gr-ga H1 E nuc Eth E tid L
199 .528E-04 .167E-01 .161E+02 .213E+08 .242E-07 .700E+00 .407E+04 .160E+02 .000E+00 .105E+00
197 .206E-03 .262E-01 .161E+02 .213E+08 .326E-07 .700E+00 .403E+04 .160E+02 .000E+00 .406E+00
195 .475E-03 .347E-01 .161E+02 .213E+08 .391E-07 .700E+00 .398E+04 .160E+02 .000E+00 .930E+00
```

File ch

```
evol.dat * fort.20 * ev.000045 * bev.000045 * ch.000045 *
INPUT: mod04p0.70 JOBID: 000045
IOSC: 0 IRL0: 1 IGR: 1 IMB: 1 IED: 1 IDS: 0
IVL1: 0 IVL2: 0 VL1: 1.4000 VL2: .0000 FRML: .000 FRAL: .000
NMOD: 1 FM1: 4.000000 FMT: 6.670000 ANGM: -.172000E+01
NMOD: 100 FM1: 3.999990 FMT: 6.669990 ANGM: .842843E-02
```

Lampiran 2

(Struktur RY Persei)

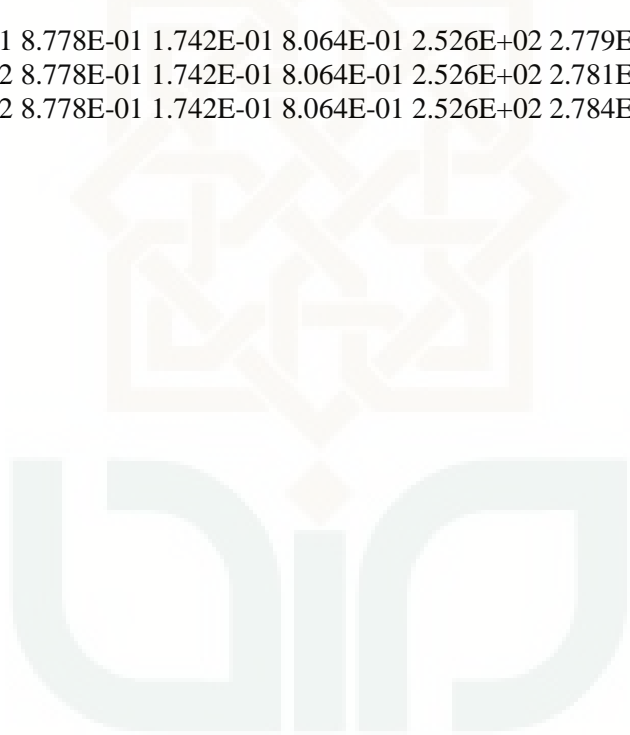
Nomod	P	rho	T	kappa	gr-ga	m	H	He	L	r	C	N	O	Ne	Mg
Main Sequence															
199	4.953E+16	1.174E+01	3.016E+07	3.587E-01	1.486E+00	5.624E-05	6.931E-01	2.865E-01	6.326E-01	1.891E-02	6.309E-05	5.828E-03	9.177E-03	1.840E-03	6.800E-04
197	4.948E+16	1.173E+01	3.015E+07	3.587E-01	1.482E+00	2.562E-04	6.931E-01	2.865E-01	2.874E+00	3.137E-02	6.308E-05	5.828E-03	9.177E-03	1.840E-03	6.800E-04
195	4.940E+16	1.172E+01	3.013E+07	3.588E-01	1.468E+00	6.569E-04	6.931E-01	2.865E-01	7.304E+00	4.295E-02	6.306E-05	5.828E-03	9.177E-03	1.840E-03	6.800E-04
...
5	1.992E+04	4.460E-09	3.073E+04	4.575E+00	-4.550E-02	8.000E+00	7.000E-01	2.800E-01	2.725E+03	3.453E+00	3.520E-03	1.040E-03	1.004E-02	1.840E-03	6.800E-04
3	9.667E+03	2.565E-09	2.584E+04	3.826E+00	-1.024E-01	8.000E+00	7.000E-01	2.800E-01	2.725E+03	3.456E+00	3.520E-03	1.040E-03	1.004E-02	1.840E-03	6.800E-04
1	4.356E+03	1.284E-09	2.246E+04	3.028E+00	-1.708E-01	8.000E+00	7.000E-01	2.800E-01	2.725E+03	3.458E+00	3.520E-03	1.040E-03	1.004E-02	1.840E-03	6.800E-04
Sub Giant Branch															
199	3.974E+16	1.175E+01	3.051E+07	2.999E-01	1.434E+00	5.484E-05	4.120E-01	5.686E-01	9.308E-01	1.875E-02	1.364E-04	1.250E-02	1.450E-03	1.840E-03	6.800E-04
197	3.969E+16	1.174E+01	3.049E+07	3.000E-01	1.429E+00	2.453E-04	4.120E-01	5.686E-01	4.149E+00	3.092E-02	1.364E-04	1.250E-02	1.450E-03	1.840E-03	6.800E-04
195	3.961E+16	1.172E+01	3.047E+07	3.001E-01	1.414E+00	6.209E-04	4.120E-01	5.686E-01	1.040E+01	4.214E-02	1.364E-04	1.250E-02	1.450E-03	1.840E-03	6.800E-04
...
5	9.855E+03	2.546E-09	2.634E+04	3.682E+00	-7.077E-02	7.142E+00	7.000E-01	2.800E-01	3.035E+03	4.809E+00	3.520E-03	1.040E-03	1.004E-02	1.840E-03	6.800E-04
3	4.803E+03	1.446E-09	2.238E+04	3.328E+00	-1.034E-01	7.142E+00	7.000E-01	2.800E-01	3.035E+03	4.814E+00	3.520E-03	1.040E-03	1.004E-02	1.840E-03	6.800E-04
1	2.193E+03	7.252E-10	1.955E+04	2.798E+00	-1.536E-01	7.142E+00	7.000E-01	2.800E-01	3.035E+03	4.818E+00	3.520E-03	1.040E-03	1.004E-02	1.840E-03	6.800E-04
Red Giant Branch															
199	4.066E+17	1.603E+02	4.018E+07	2.409E-01	-1.576E-01	1.174E-04	0.000E+00	9.806E-01	9.074E-02	1.009E-02	2.450E-04	1.319E-02	5.472E-04	1.840E-03	6.800E-04
197	4.046E+17	1.597E+02	4.014E+07	2.410E-01	-1.575E-01	3.662E-04	0.000E+00	9.806E-01	2.832E-01	1.477E-02	2.450E-04	1.319E-02	5.472E-04	1.840E-03	6.800E-04
195	4.024E+17	1.590E+02	4.009E+07	2.411E-01	-1.577E-01	7.339E-04	0.000E+00	9.806E-01	5.669E-01	1.864E-02	2.450E-04	1.319E-02	5.472E-04	1.840E-03	6.800E-04
...
5	1.498E+03	6.803E-10	1.634E+04	3.976E+00	3.003E-02	3.059E+00	6.375E-01	3.423E-01	1.028E+03	7.084E+00	1.765E-04	7.474E-03	7.145E-03	1.840E-03	6.800E-04
3	7.123E+02	3.813E-10	1.403E+04	4.072E+00	-1.244E-02	3.059E+00	6.375E-01	3.423E-01	1.028E+03	7.096E+00	1.765E-04	7.474E-03	7.145E-03	1.840E-03	6.800E-04
1	3.217E+02	1.895E-10	1.228E+04	3.773E+00	-1.202E-01	3.059E+00	6.375E-01	3.423E-01	1.028E+03	7.109E+00	1.765E-04	7.474E-03	7.145E-03	1.840E-03	6.800E-04

Lampiran 2

Nomod	P	rho	T	kappa	gr-ga	m	(Struktur RY Persei)								
							H	He	L	r	C	N	O	Ne	Mg
Horizontal Branch															
199	2.894E+19	5.750E+03	7.673E+07	2.304E-01	-1.624E-01	8.220E-05	0.000E+00	9.806E-01	1.272E-02	2.719E-03	2.450E-04	1.319E-02	5.472E-04	1.840E-03	6.800E-04
197	2.876E+19	5.723E+03	7.662E+07	2.305E-01	-1.621E-01	2.477E-04	0.000E+00	9.806E-01	3.837E-02	3.931E-03	2.450E-04	1.319E-02	5.472E-04	1.840E-03	6.800E-04
195	2.857E+19	5.694E+03	7.650E+07	2.307E-01	-1.620E-01	4.850E-04	0.000E+00	9.806E-01	7.519E-02	4.923E-03	2.450E-04	1.319E-02	5.472E-04	1.840E-03	6.800E-04
5	2.198E+03	5.476E-09	9.312E+03	4.645E+00	9.919E+00	1.101E+00	2.532E-01	7.274E-01	1.061E+03	2.984E+01	7.842E-05	1.306E-02	8.951E-04	1.840E-03	6.800E-04
3	1.934E+03	7.169E-09	7.215E+03	2.052E-01	8.589E-01	1.101E+00	2.532E-01	7.274E-01	1.061E+03	2.986E+01	7.842E-05	1.306E-02	8.951E-04	1.840E-03	6.800E-04
1	1.126E+03	5.017E-09	6.032E+03	1.999E-02	-2.606E-01	1.101E+00	2.532E-01	7.274E-01	1.062E+03	2.991E+01	7.842E-05	1.306E-02	8.951E-04	1.840E-03	6.800E-04
Asymptotic Giant Branch															
199	1.328E+20	1.606E+04	1.234E+08	1.746E-01	8.804E+00	7.153E-05	0.000E+00	9.795E-01	8.603E-01	1.844E-03	1.349E-03	1.309E-02	5.481E-04	1.976E-03	6.800E-04
197	1.321E+20	1.601E+04	1.232E+08	1.748E-01	8.467E+00	2.164E-04	0.000E+00	9.795E-01	2.498E+00	2.668E-03	1.349E-03	1.309E-02	5.481E-04	1.976E-03	6.800E-04
195	1.314E+20	1.596E+04	1.229E+08	1.751E-01	8.103E+00	4.257E-04	0.000E+00	9.795E-01	4.693E+00	3.345E-03	1.349E-03	1.309E-02	5.481E-04	1.976E-03	6.800E-04
5	1.306E+03	3.329E-09	9.728E+03	3.850E+00	9.990E+00	8.792E-01	1.748E-01	8.057E-01	2.234E+03	4.196E+01	9.382E-05	1.316E-02	7.541E-04	1.840E-03	6.800E-04
3	1.175E+03	4.847E-09	7.408E+03	1.724E-01	1.128E+00	8.792E-01	1.748E-01	8.057E-01	2.234E+03	4.200E+01	9.382E-05	1.316E-02	7.541E-04	1.840E-03	6.800E-04
1	6.841E+02	3.452E-09	6.123E+03	1.327E-02	-2.514E-01	8.792E-01	1.748E-01	8.057E-01	2.234E+03	4.212E+01	9.382E-05	1.316E-02	7.541E-04	1.840E-03	6.800E-04
Planetary Nebula															
199	8.988E+19	1.082E+04	1.270E+08	1.692E-01	6.190E+00	6.757E-05	0.000E+00	9.747E-01	9.952E-01	2.064E-03	5.793E-03	1.239E-02	5.571E-04	3.016E-03	6.800E-04
197	8.951E+19	1.079E+04	1.268E+08	1.693E-01	6.012E+00	2.040E-04	0.000E+00	9.747E-01	2.914E+00	2.984E-03	5.793E-03	1.239E-02	5.571E-04	3.016E-03	6.800E-04
195	8.911E+19	1.076E+04	1.266E+08	1.694E-01	5.816E+00	4.002E-04	0.000E+00	9.747E-01	5.526E+00	3.738E-03	5.793E-03	1.239E-02	5.571E-04	3.016E-03	6.800E-04
5	7.014E+02	5.884E-10	1.581E+04	1.263E+00	1.706E-01	8.778E-01	1.743E-01	8.063E-01	2.364E+03	1.305E+01	9.390E-05	1.316E-02	7.532E-04	1.840E-03	6.800E-04
3	3.322E+02	4.144E-10	1.304E+04	9.717E-01	9.295E-02	8.778E-01	1.743E-01	8.063E-01	2.364E+03	1.313E+01	9.390E-05	1.316E-02	7.532E-04	1.840E-03	6.800E-04
1	1.418E+02	2.007E-10	1.110E+04	7.508E-01	-1.018E-01	8.778E-01	1.743E-01	8.063E-01	2.364E+03	1.319E+01	9.390E-05	1.316E-02	7.532E-04	1.840E-03	6.800E-04

Lampiran 2

Nomod	P	rho	T	kappa	gr-ga	m	(Struktur RY Persei)								
							H	He	L	r	C	N	O	Ne	Mg
199	6.594E+19	7.886E+03	1.312E+08	1.676E-01	4.386E+00	5.552E-05	0.000E+00	9.096E-01	9.278E-01	2.148E-03	6.569E-02	3.475E-03	1.905E-03	1.575E-02	6.800E-04
197	6.573E+19	7.870E+03	1.310E+08	1.677E-01	4.291E+00	1.663E-04	0.000E+00	9.096E-01	2.717E+00	3.097E-03	6.569E-02	3.475E-03	1.905E-03	1.575E-02	6.800E-04
195	6.550E+19	7.854E+03	1.308E+08	1.678E-01	4.185E+00	3.237E-04	0.000E+00	9.096E-01	5.157E+00	3.869E-03	6.569E-02	3.476E-03	1.905E-03	1.575E-02	6.800E-04
5	3.833E+05	6.343E-08	6.610E+04	4.660E+00	-1.006E-01	8.778E-01	1.742E-01	8.064E-01	2.526E+02	2.779E-01	9.391E-05	1.316E-02	7.531E-04	1.840E-03	6.800E-04
3	1.329E+05	2.684E-08	5.305E+04	5.775E+00	-3.988E-02	8.778E-01	1.742E-01	8.064E-01	2.526E+02	2.781E-01	9.391E-05	1.316E-02	7.531E-04	1.840E-03	6.800E-04
1	4.670E+04	1.129E-08	4.367E+04	4.914E+00	-2.100E-02	8.778E-01	1.742E-01	8.064E-01	2.526E+02	2.784E-01	9.391E-05	1.316E-02	7.531E-04	1.840E-03	6.800E-04



Lampiran 3

(Evolusi RY Persei dengan angin bintang Reimers 0.0)

Usia Bintang	M_1	RLF	L_{mom}	Peri (hari)	Jarak (AU)	ANGT	dM_1/dt	dM_t/dt	ANGS	$\log L(L_{\odot})$	$\log T_{\text{ef}}$	$\log R(R_{\odot})$
.42444406E+05	.8000E+01	-.2065E+00	.8151E+01	.1320E+01	.8354E+01	.249089E-01	-.1033E-18	.0000E+00	.4490E-03	.3438E+01	.4318E+01	.6071
.18413059E+06	.8000E+01	-.3744E+00	.6145E+01	.1320E+01	.8354E+01	.247989E-01	-.2419E-19	.0000E+00	.3385E-03	.3433E+01	.4353E+01	.5342
.34530955E+06	.8000E+01	-.3715E+00	.6173E+01	.1320E+01	.8353E+01	.247995E-01	-.9326E-20	.0000E+00	.3401E-03	.3433E+01	.4352E+01	.5354
.19349932E+08	.8000E+01	-.5879E-01	.8759E+01	.1297E+01	.8258E+01	.248099E-01	-.4882E-21	.0000E+00	.4910E-03	.3587E+01	.4325E+01	.6663
.21936468E+08	.7996E+01	.4611E-03	.9336E+01	.1294E+01	.8243E+01	.248186E-01	-.4931E-07	-.3431E-17	.5246E-03	.3614E+01	.4320E+01	.6912
.22299795E+08	.7320E+01	.1295E-02	.7795E+01	.1330E+01	.8253E+01	.232847E-01	-.1092E-05	-.1077E-14	.4261E-03	.3508E+01	.4297E+01	.6837
.56960649E+08	.3063E+01	.3458E-03	.2306E+01	.4357E+01	.1620E+02	.175533E-01	-.2081E-07	-.5810E-15	.3848E-04	.2912E+01	.4051E+01	.8781
.58096973E+08	.3059E+01	-.2173E-01	.2152E+01	.4365E+01	.1622E+02	.175518E-01	.1171E-20	.0000E+00	.3585E-04	.2937E+01	.4062E+01	.8688
.58587524E+08	.3059E+01	-.6102E-01	.1800E+01	.4365E+01	.1622E+02	.175460E-01	.7821E-19	.0000E+00	.2999E-04	.3012E+01	.4089E+01	.8518
.58600088E+08	.3047E+01	.1916E-02	.1964E+01	.4406E+01	.1631E+02	.175394E-01	-.3536E-05	-.3521E-05	.3242E-04	.3005E+01	.4072E+01	.8812
.59565674E+08	.8782E+00	.6519E-03	.6768E+00	.1092E+03	.1264E+03	.161761E-01	-.1393E-06	-.1243E-06	.4507E-06	.3354E+01	.3788E+01	1.6251
.59571225E+08	.8778E+00	.2618E-03	.6661E+00	.1093E+03	.1265E+03	.161760E-01	-.9024E-08	.0000E+00	.4431E-06	.3359E+01	.3789E+01	1.6252
.59577994E+08	.8778E+00	-.3089E-01	.5981E+00	.1093E+03	.1265E+03	.161760E-01	-.2400E-19	.0000E+00	.3978E-06	.3363E+01	.3797E+01	1.6117
.88404591E+08	.8778E+00	-.4763E+01	.1261E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.8440E-20	.0000E+00	.8387E-09	.3027E+01	.4740E+01	-.4574
.88425961E+08	.8778E+00	-.4729E+01	.1288E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.1067E-19	.0000E+00	.8570E-09	.3043E+01	.4737E+01	-.4435
.88450358E+08	.8778E+00	-.4690E+01	.1321E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.6431E-20	.0000E+00	.8783E-09	.3060E+01	.4733E+01	-.4287
.88456356E+08	.8778E+00	-.4680E+01	.1329E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.2537E-18	.0000E+00	.8837E-09	.3065E+01	.4732E+01	-.4078
.88457644E+08	.8778E+00	-.4678E+01	.1330E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.9780E-19	.0000E+00	.8849E-09	.3066E+01	.4732E+01	-.4075
.88514464E+08	.8778E+00	-.4586E+01	.1410E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.5344E-20	.0000E+00	.9379E-09	.3106E+01	.4722E+01	-.3837
.89049725E+08	.8778E+00	-.3042E+01	.4175E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.1095E-18	.0000E+00	.2777E-08	.3534E+01	.4493E+01	.2694
.89053194E+08	.8778E+00	-.3017E+01	.4253E-02	.1093E+03	.1265E+03	.161759E-01	-.3839E-19	.0000E+00	.2829E-08	.3538E+01	.4489E+01	.3134

Lampiran 4

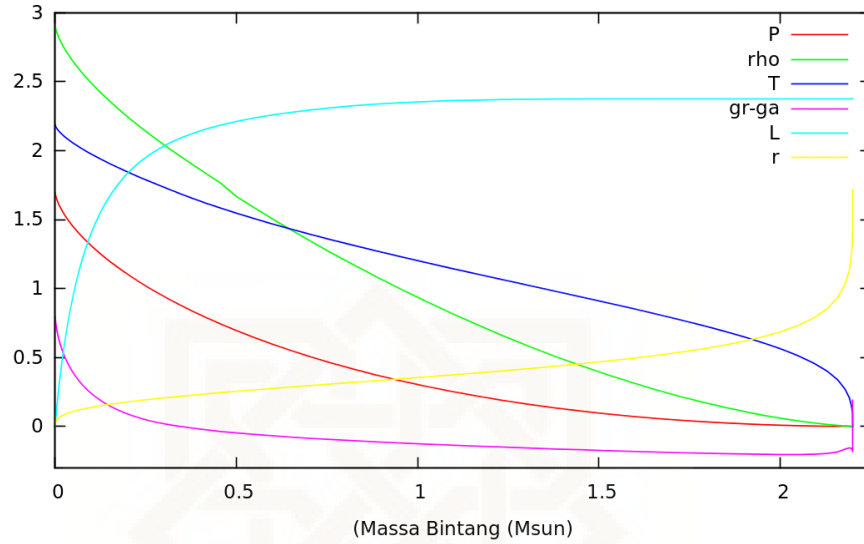
Bintang RY Persei dengan Angin bintang Reimers 0.5

Usia Bintang	M_1	RLF	I_mom	Peri (hari)	Jarak (AU)	ANGT	dM_1/dt	dM_t/dt	ANGS	$\log L(L_\odot)$	$\log T_{ef}$
.29427470E+05	.8000E+01	-.1896E+00	.8489E+01	.1320E+01	.8354E+01	.249274E-01	-.1223E-08	-.1223E-11	.4677E-03	.3424E+01	.4311E+01
.42444293E+05	.8000E+01	-.2065E+00	.8151E+01	.1320E+01	.8354E+01	.249089E-01	-.1879E-09	-.1879E-13	.4490E-03	.3438E+01	.4318E+01
.22463587E+08	.7946E+01	.1296E-02	.9244E+01	.1297E+01	.8247E+01	.247133E-01	-.1095E-05	-.1080E-15	.5181E-03	.3603E+01	.4317E+01
.22633546E+08	.7523E+01	.1761E-02	.8261E+01	.1316E+01	.8235E+01	.237278E-01	-.2753E-05	-.2738E-15	.4567E-03	.3533E+01	.4302E+01
.32752029E+08	.4758E+01	.6404E-03	.3829E+01	.2034E+01	.1021E+02	.190176E-01	-.1325E-06	-.1175E-13	.1369E-03	.3107E+01	.4173E+01
.35103476E+08	.4478E+01	.6039E-03	.3525E+01	.2227E+01	.1075E+02	.186940E-01	-.1112E-06	-.9620E-14	.1151E-03	.3062E+01	.4154E+01
.59014658E+08	.3058E+01	-.3861E-01	.1853E+01	.4369E+01	.1623E+02	.175448E-01	-.3336E-09	-.3336E-16	.3084E-04	.3015E+01	.4085E+01
.59024042E+08	.3045E+01	.1948E-02	.1966E+01	.4413E+01	.1633E+02	.175372E-01	-.3718E-05	-.3703E-14	.3241E-04	.3003E+01	.4072E+01
.59985269E+08	.8786E+00	.7511E-03	.6847E+00	.1091E+03	.1263E+03	.161751E-01	-.2131E-06	-.1981E-17	.4564E-06	.3351E+01	.3787E+01
.60020199E+08	.8773E+00	-.2806E+00	.3036E+00	.1094E+03	.1266E+03	.161695E-01	-.1146E-07	-.1146E-16	.2018E-06	.3367E+01	.3852E+01
.60034060E+08	.8772E+00	-.4694E+00	.2003E+00	.1094E+03	.1266E+03	.161671E-01	-.9532E-08	-.9532E-10	.1331E-06	.3369E+01	.3893E+01
.60538503E+08	.8763E+00	-.3875E+01	.3690E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161531E-01	-.1920E-09	-.1920E-13	.2451E-08	.3152E+01	.4579E+01
.60698471E+08	.8763E+00	-.4306E+01	.2856E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161528E-01	-.8713E-10	-.8713E-15	.1897E-08	.2996E+01	.4633E+01
.74860303E+08	.8762E+00	-.4997E+01	.2423E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161507E-01	-.9573E-11	-.9573E-17	.1610E-08	.2337E+01	.4618E+01
.76030747E+08	.8761E+00	-.4983E+01	.2439E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161505E-01	-.1000E-10	-.1000E-15	.1620E-08	.2350E+01	.4619E+01
.88626967E+08	.8760E+00	-.4655E+01	.1238E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161479E-01	-.1049E-09	-.1049E-16	.8221E-09	.3228E+01	.4767E+01
.88982049E+08	.8760E+00	-.4675E+01	.1327E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161475E-01	-.7101E-10	-.7101E-15	.8817E-09	.3067E+01	.4731E+01
.89006044E+08	.8760E+00	-.4636E+01	.1360E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161475E-01	-.7677E-10	-.7677E-14	.9032E-09	.3084E+01	.4727E+01
.89012553E+08	.8760E+00	-.4626E+01	.1369E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161475E-01	-.7840E-10	-.7840E-15	.9092E-09	.3089E+01	.4726E+01
.89029437E+08	.8760E+00	-.4599E+01	.1393E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161475E-01	-.8281E-10	-.8281E-13	.9250E-09	.3101E+01	.4723E+01
.89054962E+08	.8760E+00	-.4557E+01	.1430E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161474E-01	-.8998E-10	-.8998E-16	.9498E-09	.3119E+01	.4718E+01
.89073083E+08	.8759E+00	-.4527E+01	.1457E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161474E-01	-.9548E-10	-.9548E-13	.9681E-09	.3131E+01	.4715E+01
.89097738E+08	.8759E+00	-.4486E+01	.1496E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161474E-01	-.1035E-09	-.1035E-14	.9940E-09	.3149E+01	.4710E+01
.89516164E+08	.8758E+00	-.3384E+01	.3203E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161456E-01	-.6608E-09	-.6608E-17	.2128E-08	.3475E+01	.4553E+01
.89523354E+08	.8758E+00	-.3347E+01	.3291E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161455E-01	-.6967E-09	-.6967E-17	.2186E-08	.3482E+01	.4547E+01
.89530363E+08	.8758E+00	-.3311E+01	.3381E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161454E-01	-.7341E-09	-.7341E-15	.2246E-08	.3489E+01	.4540E+01
.89539505E+08	.8758E+00	-.3262E+01	.3506E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161453E-01	-.7876E-09	-.7876E-15	.2329E-08	.3498E+01	.4532E+01
.89543000E+08	.8758E+00	-.3243E+01	.3557E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161452E-01	-.8094E-09	-.8094E-15	.2363E-08	.3502E+01	.4529E+01
.89545631E+08	.8758E+00	-.3228E+01	.3596E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161452E-01	-.8264E-09	-.8264E-13	.2389E-08	.3504E+01	.4526E+01
.89552456E+08	.8758E+00	-.3189E+01	.3704E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161451E-01	-.8730E-09	-.8730E-14	.2460E-08	.3511E+01	.4520E+01
.89559237E+08	.8758E+00	-.3150E+01	.3818E-02	.1095E+03	.1266E+03	.161450E-01	-.9232E-09	-.9232E-14	.2536E-08	.3518E+01	.4513E+01

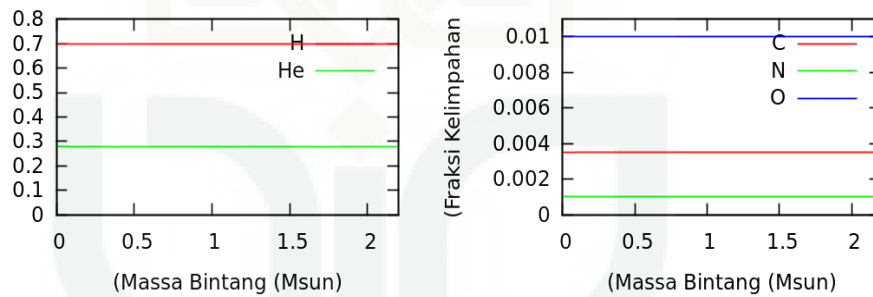
Lampiran 5

Grafik Struktur DN Orionis

1. Fase *Zero age main sequence* dan *main sequence*

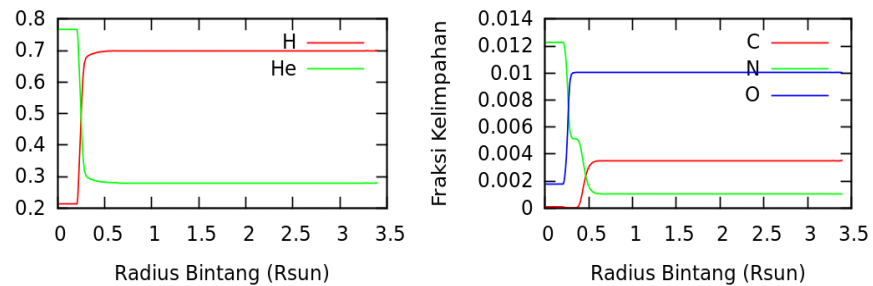


Tekanan P dinyatakan dalam 10^{17} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K. Densitas ρ dinyatakan dalam $20g/cm^3$. Luminositas dinyatakan dalam $10L_{\odot}$.



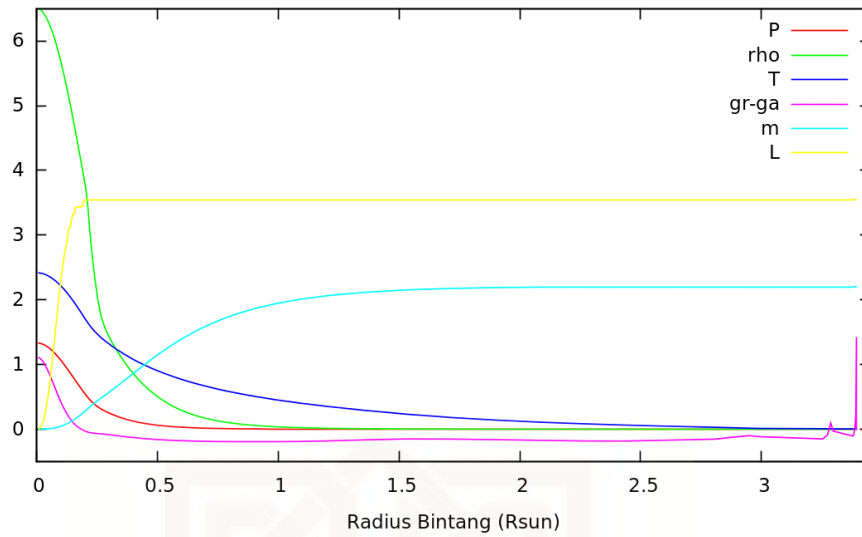
Komposisi kimia bintang DN Orionis pada fase ZAMS

2. Fase *Sub giant branch* (SGB)



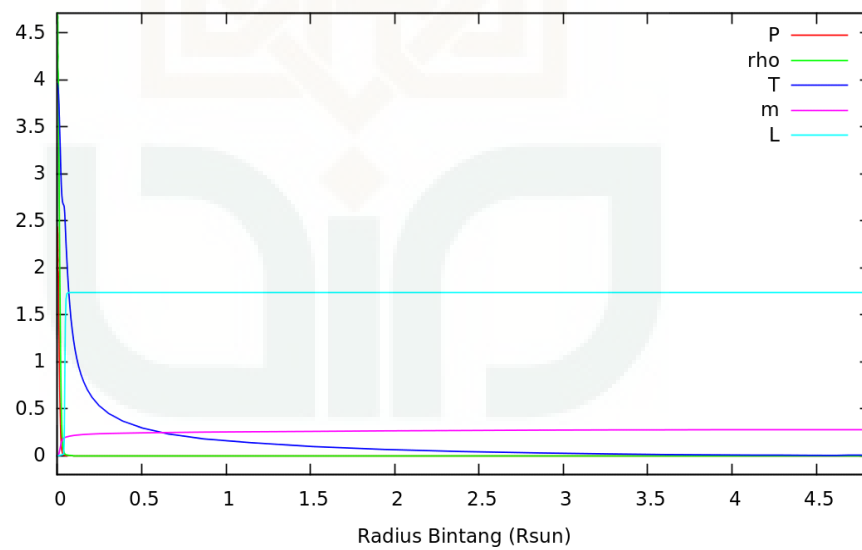
Komposisi kimia

Lampiran 5



Tekanan P dinyatakan dalam 10^{17} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K.

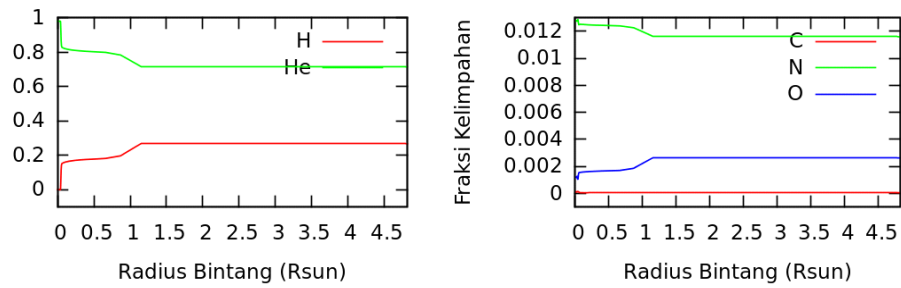
Densitas ρ dinyatakan dalam $10g/cm^3$. Luminositas dinyatakan dalam $10L_{\odot}$.

3. Fase *Red giant branch* (RGB)

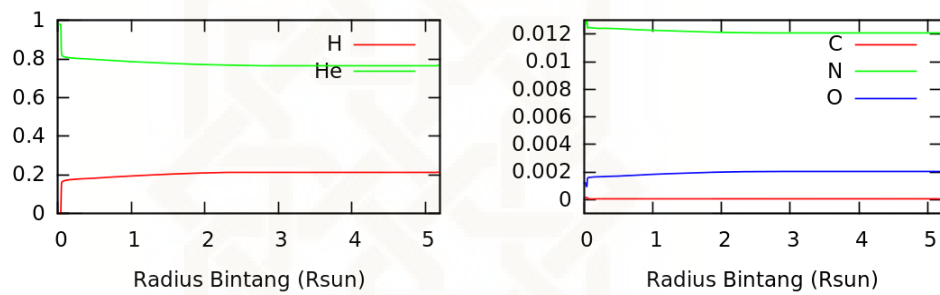
Tekanan P dinyatakan dalam 10^{20} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K.

Densitas ρ dinyatakan dalam $10^4 \rho_{\odot}$. Luminositas dinyatakan dalam $10L_{\odot}$.

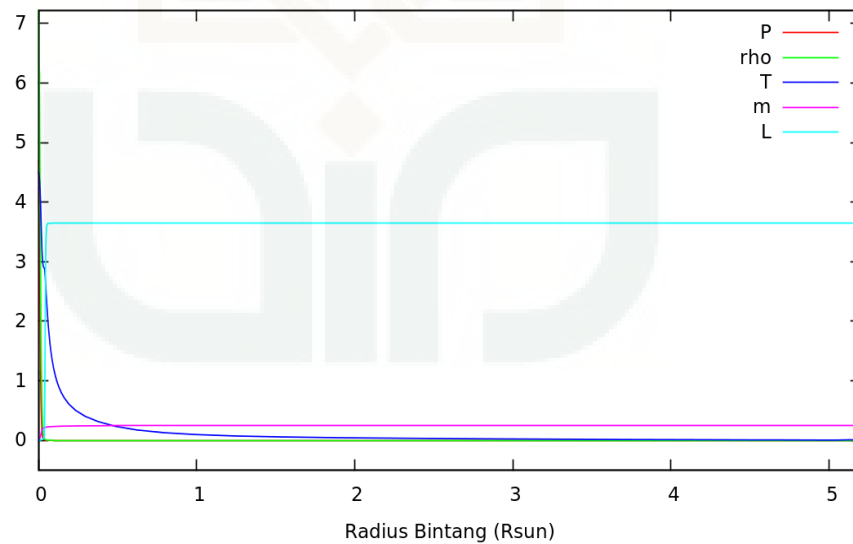
Lampiran 5



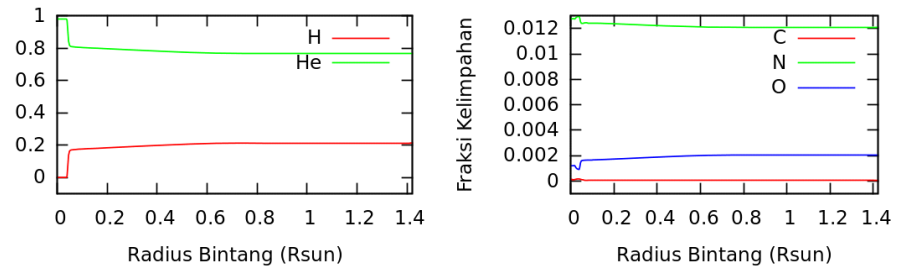
Komposisi ini

4. Fase *Asymptotic giant branch* (AGB)

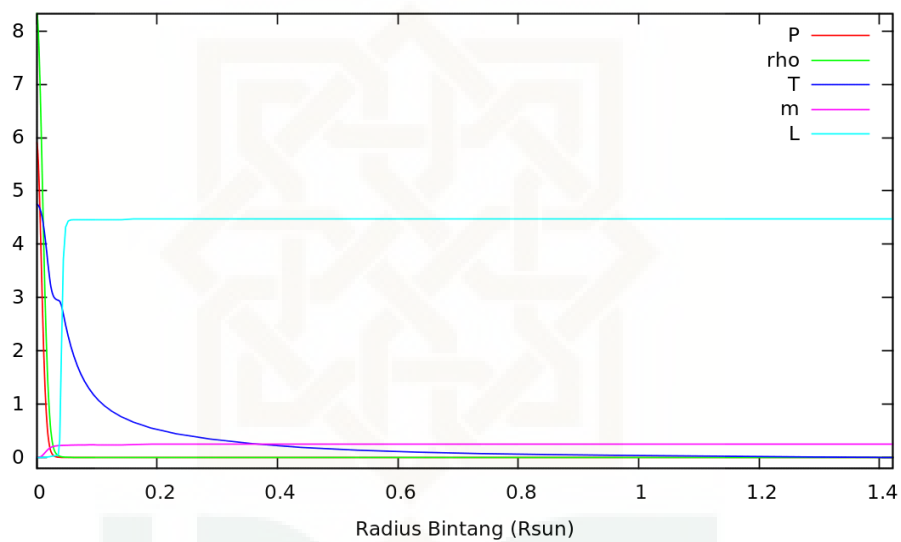
komposisi kimia bintang

Tekanan P dinyatakan dalam 10^{20} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K.Densitas ρ dinyatakan dalam $10^3 \rho_{\odot}$. Luminositas dinyatakan dalam $10L_{\odot}$.

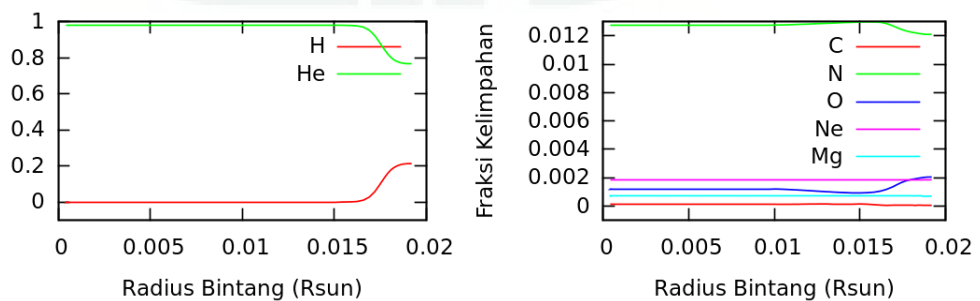
Lampiran 5

5. Fase *Planetary Nebula* (PN)

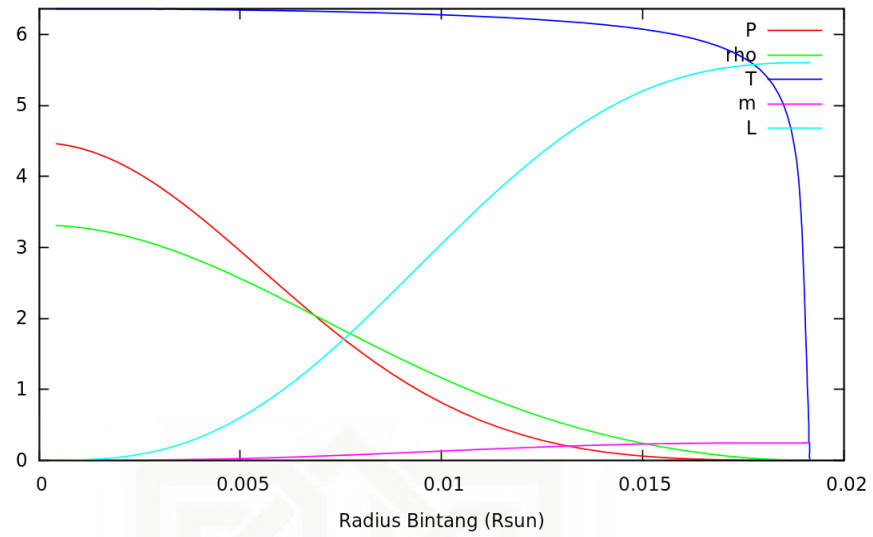
komposisi kimia bintang



Gambar 4.11 Model struktur bintang primer bermassa $2.2M_{\odot}$ pada tahap *planetary nebula*. Tekanan P dinyatakan dalam 10^{20} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K. Densitas ρ dinyatakan dalam $10^4 \rho_{\odot}$. Luminositas dinyatakan dalam $10L_{\odot}$.

6. *White dwarf* (WD)komposisi kimia bintang pada fase *white dwarf*

Lampiran 5



Tekanan P dinyatakan dalam 10^{20} dyne/cm². Temperatur T dinyatakan dalam 10^7 K.
 Densitas ρ dinyatakan dalam $10^4 \rho_{\odot}$. Luminositas dinyatakan dalam $10^{-6} L_{\odot}$.

Lampiran 6

Klasifikasi Bintang Berdasarkan Spektrumnya**Bintang Deret Utama (Main Sequence / golongan V)**

Type Spektrum	Temperatur (K)	Magnitudo Absolut	Luminositas (L_{\odot})
O5	54,000	-4.5	200,000
O6	45,000	-4.0	140,000
O7	43,300	-3.9	120,000
O8	40,600	-3.8	80,000
O9	37,800	-3.6	55,000
B0	29,200	-3.3	24,000
B1	23,000	-2.3	5550
B2	21,000	-1.9	3190
B3	17,600	-1.1	1060
B5	15,200	-0.4	380
B6	14,300	0	240
B7	13,500	0.3	140
B8	12,300	0.7	73
B9	11,400	1.1	42
A0	9600	1.5	24
A1	9330	1.7	20
A2	9040	1.8	17
A3	8750	2.0	14
A4	8480	2.1	12
A5	8310	2.2	11
A7	7920	2.4	8.8
F0	7350	3.0	5.1
F2	7050	3.3	3.8
F3	6850	3.5	3.2

Lampiran 6

F5	6700	3.7	2.7
F6	6550	4.0	2.0
F7	6400	4.3	1.5
F8	6300	4.4	1.4
G0	6050	4.7	1.2
G1	5930	4.9	1.1
G2	5800	5.0	1
G5	5660	5.2	0.73
G8	5440	2.6	0.51
K0	5240	6.0	0.38
K1	5110	6.2	0.32
K2	4960	6.4	0.29
K3	4800	6.7	0.24
K4	4600	7.1	0.18
K5	4400	7.4	0.15
K7	4000	8.1	0.11
M0	3750	8.7	0.080
M1	3700	9.4	0.055
M2	3600	10.1	0.035
M3	3500	10.7	0.027
M4	3400	11.2	0.022
M5	3200	12.3	0.011
M6	3100	13.4	0.0051
M7	2900	13.9	0.0032
M8	2700	14.4	0.0020
L0	2600	*	0.00029
L3	2200	*	0.00013
L8	1500	*	0.000032
T2	1400	*	0.000025
T6	1000	*	0.0000056

Lampiran 6

T8	800	*	0.0000036
----	-----	---	-----------

*sebagian besar tidak terlihat oleh mata

Cabang Raksasa (Giants / golongan III)

Tipe Spektrum	Temperatur (K)	Magnitudo Absolut	Luminositas (L_{\odot})
G5	5010	0.7	127
G8	4870	0.6	113
K0	4720	0.5	96
K1	4580	0.4	82
K2	4460	0.2	70
K3	4210	0.1	58
K4	4010	0.0	45
K5	3780	-0.2	32
M0	3660	-0.4	15
M1	3600	-0.5	13
M2	3500	-0.6	11
M3	3300	-0.7	9.5
M4	3100	-0.75	7.4
M5	2950	-0.8	5.1
M6	2800	-0.9	3.3

Maha Raksasa (Supergiants / golongan I)

Tipe Spektrum	Temperatur (K)	Magnitudo Absolut	Luminositas (L_{\odot})
B0	21,000	-6.4	320,000
B1	16,000	-6.4	280,000
B2	14,000	-6.4	220,000
B3	12,800	-6.3	180,000

Lampiran 6

B5	11,500	-6.3	140,000
B6	11,000	-6.3	98,000
B7	10,500	-6.3	82,000
B8	10,000	-6.2	73,000
B9	9700	-6.2	61,000
A0	9400	-6.2	50,600
A1	9100	-6.2	44,000
A2	8900	-6.2	40,000
A5	8300	-6.1	36,000
F0	7500	-6	20,000
F2	7200	-6	18,000
F5	6800	-5.9	16,000
F8	6150	-5.9	12,000
G0	5800	-5.9	9600
G2	5500	-5.8	9500
G5	5100	-5.8	9800
G8	5050	-5.7	11,000
K0	4900	-5.7	12,000
K1	4700	-5.6	13,500
K2	4500	-5.6	15,200
K3	4300	-5.6	17,000
K4	4100	-5.5	18,300
K5	3750	-5.5	20,000
M0	3660	-5.3	50,600
M1	3600	-5.3	52,000
M2	3500	-5.3	53,000
M3	3300	-5.3	54,000
M4	3100	-5.2	56,000
M5	2950	-5.2	58,000

Lampiran 7

CURRICULUM VITAE

Nama lengkap : M. Abu Kamal
 Tempat & tgl lahir : Sumenep, 26 Januari 1989
 Alamat asal : Jl. Lumba-Lumba RT/RW 04/03 Kolor Sumenep
 Alamat di Yogyakarta : RT 12 RW 04 Ambarrukmo
 Program Studi : Fisika
 Fakultas : Sains dan Teknologi
 Universitas : UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
 Email : Akmal09kasya@gmail.com
 No HP : 085643552538
 Motto : Badai Pasti Berlalu

 Riwayat pendidikan :

Jenjang Pendidikan	Tahun Kelulusan
MI Tarbiyatus Shibyan Ainul Falah	2002
MTs Ainul Falah	2005
MA Sumber Bungur Pakong Pamekasan	2008
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta	2009-Sekarang