

Analisis Kelimpahan Hidrogen Bintang-Bintang Deret Utama dari Spektroskopi Resolusi Tinggi

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Fisika

Fathia R Syahroni
0305020411



Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan ALam
Universitas Indonesia
Depok
2010

Halaman Pernyataan Orisinalitas

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Fathia R Syahroni

NPM : 0305020411

Tanda Tangan :

Tanggal : 9 Juni 2010

Lembar Persetujuan

Nama : Fathia R Syahroni
NPM : 0305020411
Departemen : Fisika
Peminatan : Fisika Nuklir dan Partikel
Tanggal Sidang : 9 Juni 2010
Judul Skripsi : Analisis Kelimpahan Hidrogen Bintang-Bintang Deret Utama
dari Spektroskopi Resolusi Tinggi

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Budhy Kurniawan M.Si

Dr. Hakim L Malasan

Penguji I

Penguji II

Dr. Agus Salam

Dr. Anto Sulaksono

Ketua Departemen Fisika

Dr. Santoso Soekirno

Kata Pengantar

Radiasi elektromagnetik objek langit yang sampai ke bumi tidaklah sama antara yang satu dengan yang lainnya. Setiap objek langit memiliki karakteristik tersendiri sesuai dengan radiasi elektromagnetik yang dipancarkannya. Karakteristik inilah yang menunjukkan parameter fisis dari objek langit tersebut. Dengan studi spektroskopi, astronom dapat memahami parameter objek langit seperti menentukan temperatur, densitas, umur, massa, kelimpahan kimia, dan hal lainnya.

Observasi benda langit adalah penelitian dimana pengamat tidak dapat bersentuhan langsung dengan objek yang diteliti. Namun masih tetap ada 'komunikasi' yang terjalin antara objek dan pengamat. Penulis tertarik dengan observasi benda langit karena banyak hal yang masih tampak misterius yang dapat dikuak dan dipelajari.

Secara khusus penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung, antara lain:

- Dr. Budhy Kurniawan M.Si selaku pembimbing I atas bimbingan dan dukungan ketika diskusi serta saran yang diberikan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
- Dr. Hakim L Malasan selaku pembimbing II yang telah membimbing penulis mulai dari awal diskusi, pengamatan, hingga penyelesaian tugas akhir ini. Serta atas saran, ide, dan dukungan yang diberikan. Menjadi mahasiswa bimbingan beliau merupakan pelajaran yang sangat berharga.

- Dr. Agus Salam dan Dr. Anto Sulaksono selaku penguji I dan II atas diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
- Bapak Syahroni Susanto dan Ibu Tuti Sumirat selaku orangtua serta adik-adik penulis atas semua doa dan dukungan yang diberikan.
- Rekan-rekan di Laboratorium Fisika Nuklir dan Partikel: Andy Octavian L, M. Khalid Nurdin P, Chrisna SN, dan M. Januar yang selalu ramai membicarakan banyak hal. Mulai dari diskusi serius relativitas umum, hingga konser musik dangdut yang lebay dan alay. Fahlevi Nur Diana, sahabat terdekat dan mantan teman sekamar kosan. Tempat berbagi banyak hal terutama gosip tentang lelaki (hehe). Mbak Heni, yang sudah sabar mengajarkan penulis tentang penulisan di Latex. Serta Pak L.T Handoko dan Pak Terry Mart, yang selalu memberi motivasi dan support pada penulis melalui pemikiran-pemikirannya yang luas.
- Rekan-rekan di Observatorium Bosscha: Mas Irfan dan Mas Evan atas bimbingan dan bantuan saat penulis melakukan pengambilan data observasi. Juga sudah mendampingi dan menolong dalam banyak hal termasuk saat penulis tertabrak angkot ketika akan memberikan laporan observasi.
- Tiga orang partner yang selalu mendukung penulis. Dyas Utomo yang telah menemani penulis selama di Observatorium Bosscha juga untuk obrolan tentang cita-cita setinggi langit kita. Muhandis atas bantuannya mencari bahan referensi. Ramayadi yang telah mendukung penulis dan memberikan banyak tips-tips saat mengerjakan tugas akhir juga menjelang sidang.
- Para sahabat terbaik yang tidak pernah lelah mendukung dan memberi semangat pada penulis. Deasy Rizkinanti dan M. Irfan Ispari, persahabatan kita yang terjalin melalui dunia maya adalah bukti peribahasa 'Jauh di Mata Dekat di Hati'. Jatu Purwastri dan Heninggar Septiantri, sahabat terbaik sejak SMA yang selalu memberikan pecutan ketika penulis merasa jatuh.
- Taufiq Indra atas perhatian dan kesediaannya mendengar semua celotehan penulis saat pengerjaan tugas akhir. Juga yang paling terkena imbas ketika

mood penulis sedang buruk. Terima kasih karena telah begitu sabar selalu mengingatkan, terutama ketika hobi belanja penulis sedang kambuh.

- Teman-teman fisika angkatan 2005. Kenangan bersama kalian tidak akan pernah hilang. Kebersamaan selama 5 tahun di kampus yang penuh warna. Spesial untuk almarhum Fanny Azizi, yang sering menjadi partner kelompok selama kuliah karena nama kami sama-sama berawalan huruf 'F', semoga diterima dengan baik di sisi Allah SWT.
- Juga semua pihak yang tidak dapat disebutkan di sini atas dukungan dan doa kepada penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.

Hasil karya ini tidaklah sempurna. Penulis menerima saran dan kritikan yang membangun dari para pembaca.

Depok, Juni 2010

Fathia R Syahroni

Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir Untuk Kepentingan Akademik

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fathia R Syahroni
NPM : 0305020411
Program Studi : Fisika Nuklir Partikel
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas skripsi saya yang berjudul:

Analisis Kelimpahan Hidrogen Bintang-Bintang Deret Utama dari Spektroskopi Resolusi Tinggi

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Juni 2010

Yang menyatakan

(Fathia R Syahroni)

Abstrak

Nama : Fathia R Syahroni
Program Studi : Fisika
Judul : Analisis Kelimpahan Hidrogen Bintang-Bintang Deret Utama dari Spektroskopi Resolusi Tinggi

Bintang diklasifikasikan berdasarkan luminositas dan temperatur. Ketika inti panas bintang yang memancarkan energi dengan spektrum kontinu dilewatkan pada gas yang lebih dingin di atmosfer, gas tersebut akan menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu. Akibatnya, diperoleh spektrum kontinu yang diselang-seling garis serapan. Kuat garis serapan dari unsur yang diamati berbeda pada setiap kelas spektrum. Pengamatan kali ini tentang spektroskopi resolusi tinggi terhadap berbagai kelas spektrum bintang. Selanjutnya didapat spektrum pengamatan unsur Hidrogen yang dianalisis berdasarkan pengaruh pelebaran Doppler. Dalam tugas akhir ini analisis dilakukan untuk menentukan pengaruh pelebaran Doppler terhadap kelimpahan Hidrogen dari sampel bintang-bintang deret utama (kelas V) yang ada dalam rentang kelas menurut katalog Henry Draper. Untuk bintang kelas O yang memiliki nilai temperatur tertinggi, nilai Δ_λ adalah 1.02311×10^{-08} . Dan untuk bintang kelas K yang memiliki nilai temperatur terendah, nilai Δ_λ adalah 3.61362×10^{-09} . Dari nilai Δ_λ untuk masing-masing sampel bintang, dapat dilihat perubahan evolusi bintang dari masing-masing kelas spektrum.

Kata kunci: bintang, spektroskopi, hidrogen, pelebaran doppler.

xii+55 hlm.; lamp.

Daftar Acuan: 14 (1973-2007)

Abstract

Name : Fathia R Syahroni
Major : Fisika
Title : Abundance Analysis of Hidrogen in Main Sequence Stars
by High-Resolution Spectroscopy

Stars are classified based on the luminosity and temperature. When the hot core of a star that emits energy with continuous spectrum is passed through the cooler gases in the atmosphere, the gas will absorb light at specific wavelengths. As a result, the continuous spectrum obtained alternately punctuated absorption lines. Strong absorption lines of each element observed is different at each spectrum class. This observations is about the spectroscopic of high-resolution spectra of the various classes of stars. Further observation of the element hydrogen spectrum is obtained which analyzed by the effect of Doppler broadening. In this final analysis was carried out to determine the Doppler broadening effect on the abundance of hydrogen from the sample of main sequence stars (class V) in the range of classes according to the Henry Draper catalog. For the O-class stars which has the highest temperature value, the value of Δ_λ is 1.02311×10^{-08} . And for the K-class stars which has the lowest temperature value, the value of Δ_λ is 3.61362×10^{-09} . From the value of Δ_λ for each sample of stars, stellar evolution can be seen the change of each spectral class.

Keywords: stars, spectroscopy, hydrogen, Doppler broadening.

xii+55 pp.; appendices.

References: 17 (1973-2007)

Daftar Isi

Halaman Pernyataan Orisinalitas	ii
Kata Pengantar	v
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	viii
Abstrak	ix
Daftar Isi	xi
1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Model Operasional Penelitian	3
2 Landasan Teori	5
2.1 Atom Hidrogen	5
2.2 Spektroskopi	6
2.2.1 Spektrum Absorpsi	8
2.3 Bintang	9
2.3.1 Atmosfer Bintang	9
2.3.2 Klasifikasi Bintang	9
2.3.3 Spektrum Bintang	13
2.4 Pelebaran Doppler	14

3	Metodologi Penelitian	16
3.1	Tujuan Penelitian	16
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.3	Metode Penelitian	16
3.4	Objek Penelitian	17
3.5	Teknik Pengambilan Data	17
3.6	Instrumen Penelitian	19
3.7	Alur Penelitian	19
3.8	Desain Penelitian	21
3.9	Teknik Analisa Data	21
3.10	Tabel Pengamatan	21
4	Hasil Penelitian dan Pembahasan	23
4.1	Hasil Penelitian	23
4.2	Pembahasan	34
5	Kesimpulan dan Saran	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
A	Notasi	41
B	Gambar	42
	Daftar Acuan	54

Bab 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Setiap objek langit menghasilkan energi yang dipancarkan ke ruang angkasa berupa radiasi elektromagnetik. Salah satu objek langit tersebut adalah bintang yang memancarkan radiasi dari atmosfernya. Dari radiasi elektromagnetik ini, dapat diketahui karakteristik yang akan menunjukkan parameter fisis dari objek langit tersebut.

Spektroskopi adalah studi mengenai interaksi antara cahaya dengan materi sebagai fungsi gelombang dengan menggunakan prinsip-prinsip absorpsi, emisi, dan hamburan dari radiasi elektromagnetik. Dengan pengamatan spektroskopi, astronom dapat memahami parameter dari suatu objek langit seperti menentukan temperatur, densitas, umur, massa, kelimpahan kimia, dan hal lainnya.

Dalam pengamatan astronomi di bumi, spektroskopi terbatas pada daerah spektrum visual, infra merah dekat, ultra ungu dekat dan radio. Keterbatasan ini disebabkan oleh interaksi antara radiasi elektromagnetik tersebut dengan atmosfer bumi. Interaksi tersebut mengakibatkan adanya radiasi yang dipantulkan, diserap dan ditransmisikan oleh atmosfer, sehingga tidak semua panjang gelombang dapat diterima bumi.

Radiasi elektromagnetik yang diterima oleh pengamat di bumi kemudian akan dijabarkan dengan sistem spektroskopi. Yang kemudian diolah untuk mendapatkan data dari parameter yang dicari. Namun pada kenyataannya, ternyata radiasi elektromagnetik yang diterima oleh bumi tidak selalu sama dengan yang langsung dipancarkan oleh objek langit. Ada beberapa hal yang menyebabkan

perbedaan tersebut seperti:

1. Interaksi gravitasi antar benda langit
2. Interaksi di ruang antar bintang
3. Interaksi gelombang elektromagnetik antar benda langit
4. Interaksi dengan lapisan atmosfer bumi

Dari radiasi elektromagnetik dan hal-hal yang mempengaruhi perbedaan tersebut, akan ada banyak hal yang dapat dipelajari dan diteliti dalam lingkup studi astrofisika.

Sebelumnya, astronom dan fisikawan banyak yang sudah meneliti bintang-bintang untuk menentukan temperatur efektif agar dapat dibentuk klasifikasi bintang. Selain itu dibentuk klasifikasi bintang berdasarkan hasil penelitian menurut warna ataupun koreksi bolometrik bintang. Ada pula penelitian secara eksperimen di laboratorium untuk pengukuran medan elektrik atom hidrogen menggunakan spektroskopi menurut pengaruh Doppler dan Stark. Kali ini peneliti mencoba untuk melakukan observasi secara langsung pada objek untuk menganalisis pengaruh pelebaran Doppler terhadap kelimpahan unsur hidrogen.

1.2 Perumusan masalah

Dalam spektroskopi astronomi, ada yang disebut spektroskopi resolusi tinggi yaitu ketika objek penelitian adalah sebuah titik sumber cahaya yaitu bintang. Bintang akan meradiasikan sejumlah cahaya yang akan diterima oleh pengamat dalam bentuk citra spektrum. Hasil citra spektrum ini akan memberikan informasi mengenai kondisi fisis bintang tersebut. Namun spektrum yang diterima pengamat masih dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah pelebaran Doppler. Parameter yang akan diteliti pada penelitian ini adalah kelimpahan unsur kimia bintang. Lalu akan dianalisis bagaimana pengaruh pelebaran Doppler terhadap radiasi elektromagnetik bintang yang diamati pengamat di Bumi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kelimpahan unsur Hidrogen bintang-bintang kelas deret utama menurut pengaruh pelebaran Doppler.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan data-data spektrum yang diperoleh, kita dapat mengetahui unsur-unsur kimia yang terdapat pada bintang-bintang yang diamati. Perbandingan kelimpahan kimia dari bintang-bintang yang diamati dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran radiasi elektromagnetik dan hubungannya dengan evolusi bintang.

1.5 Batasan Penelitian

Objek penelitian adalah sampel 20 bintang yang memancarkan radiasi elektromagnetik yang diterima pengamat dalam bentuk spektrum. Pengamat di bumi memiliki keterbatasan dalam mendeteksi radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh bintang. Sehingga wilayah panjang gelombang yang diamati hanya meliputi daerah visual, infra merah dekat dan ultra ungu dekat. Dari spektrum bintang tersebut, akan ada spektrum absorpsi yang merupakan indikasi dari unsur kimia. Begitu pula unsur kimia yang dijadikan referensi adalah unsur Hidrogen yang merupakan unsur terbanyak di alam semesta. Yang kemudian dianalisis berdasarkan pengaruh pelebaran Doppler.

1.6 Model Operasional Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mendeteksi radiasi yang dipancarkan oleh bintang untuk kemudian diuraikan dengan *Bosscha Compact Spectrograph* (BCS) yang dipasangkan pada teleskop *Double Refractor Zeiss* dengan diameter 60 cm

dan panjang fokus 1080 cm. Spektrum hasil penguraian oleh spektrograf kemudian direkam secara digital dengan kamera *Charge Coupled Device* (CCD) SBIG ST-8XE. Citra spektrum kemudian diolah dengan menggunakan software yang berkaitan dengan spektroskopi.

Setelah didapat hasil olahan citra spektrum yang berupa nilai *equivalent width*, panjang gelombang, dan fluks absorpsi dari bintang, analisis dilakukan berdasarkan studi pustaka. Konteks analisis adalah perubahan nilai *equivalent width*, panjang gelombang, dan fluks absorpsi berdasarkan pengaruh pelebaran Doppler.



Bab 2

Landasan Teori

2.1 Atom Hidrogen

Hidrogen adalah unsur dengan jumlah terbanyak dari semua unsur yang ada di alam semesta. Diperkirakan komposisi Hidrogen lebih dari 90% dari atom-atom yang ada di alam semesta. Yang artinya hampir sama dengan tiga perempat massa alam semesta. Unsur ini ditemukan di bintang-bintang dan memainkan peranan yang penting dalam memberikan sumber energi jagat raya melalui reaksi proton-proton dan siklus karbon-nitrogen[1]. Proses fusi atom-atom hidrogen menjadi helium di bintang menghasilkan jumlah energi yang sangat besar.

Di bintang, Hidrogen ditemukan dalam bentuk atomik atau plasma. Sebagai plasma, elektron hidrogen dan proton terikat bersama, dan menghasilkan konduktivitas elektrik dan daya pancar yang sangat tinggi. Hal inilah yang menyebabkan bintang bercahaya.

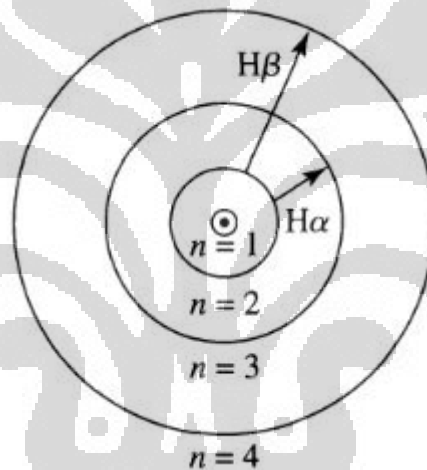
Spektrum bintang membentuk suatu deretan warna cahaya dengan panjang gelombang berbeda. Untuk gas hidrogen yang merupakan atom yang paling sederhana, deret panjang gelombang ini ternyata mempunyai pola tertentu yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis. Seorang ahli fisika Swiss bernama Balmer memetakan panjang gelombang kumpulan garis ini mengikuti hukum[2]:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (2.1)$$

dimana λ adalah panjang gelombang, R adalah konstanta, dan n adalah bilangan kuantum utama yang dimulai dari $n = 3, 4, 5, \dots$. Deret garis yang

dipancarkan hidrogen ini disebut deret Balmer.

H alpha, atau biasa ditulis $H\alpha$, adalah sebuah garis spektrum cahaya tampak yang dapat terbentuk oleh hidrogen dengan panjang gelombang 6562,8 angstrom. Menurut model atom Bohr, elektron ada di tingkat energi terkuantisasi yang mengelilingi inti atom. Tingkat energi ini dijelaskan oleh bilangan kuantum utama $n = 1, 2, 3, \dots$. Elektron hanya mungkin ada dan dapat berpindah di antara state ini. Dalam spektrum absorpsi, perpindahan antara $n = 2$ ke $n = 3$ inilah yang disebut $H\alpha$ berdasarkan deret Balmer[3].



Gambar 1. Atom Hidrogen

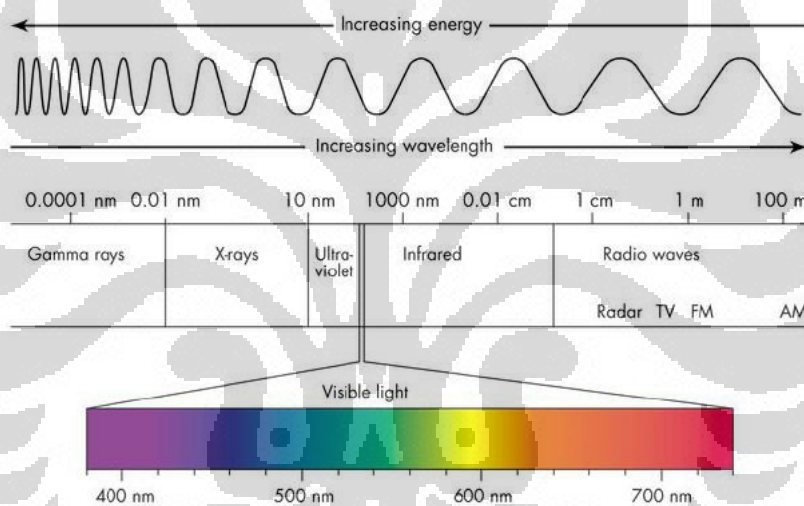
2.2 Spektroskopi

Spektroskopi adalah studi mengenai interaksi antara cahaya dengan materi sebagai fungsi gelombang dengan menggunakan prinsip-prinsip absorpsi, emisi, dan hamburan dari radiasi elektromagnetik. Dengan pengamatan spektroskopi, astronom dapat memahami parameter dari suatu objek langit seperti menentukan temperatur, densitas, umur, massa, kelimpahan kimia, dan hal lainnya[4].

Cahaya yang dimaksud dalam studi spektroskopi kali ini ada radiasi elektromagnetik benda langit. Radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh benda langit terentang dari wilayah sinar Gamma hingga radio yang dikelompokkan berdasarkan panjang gelombangnya. Daerah visual yang dapat dilihat langsung oleh manusia, merupakan sebagian dari panjang gelombang radiasi elek-

tromagnetik, yaitu di wilayah panjang gelombang 3800 hingga 7500. Melalui metode spektroskopi ini, dapat diidentifikasi substansi objek benda langit tersebut melalui spektrum yang dipancarkan atau diserap.

Dalam studi spektroskopi astronomi, ada yang disebut spektroskopi resolusi tinggi yaitu ketika objek penelitian adalah sebuah titik sumber cahaya yaitu bintang. Bintang akan meradiasikan sejumlah cahaya yang akan diterima dalam bentuk citra spektrum. Hasil citra spektrum ini akan memberikan informasi mengenai kondisi fisis bintang tersebut.



Gambar 2. Spektrum Radiasi Elektromagnetik

Hukum Kirchoff[5] yang merupakan hukum dasar spektroskopi menyatakan:

1. Bila suatu benda langit, cair atau gas bertekanan tinggi berpijar, maka benda tersebut akan memancarkan energi dengan spektrum terentang pada semua panjang gelombang. Spektrum ini disebut dengan spektrum kontinu.
2. Gas bertekanan rendah bila dipijarkan akan memancarkan energi pada panjang gelombang tertentu. Spektrum yang diperoleh berupa garis-garis terang yang disebut garis emisi. Letak garis tersebut pada spektrum merepresentasikan gas pemancarnya.
3. Bila seberkas cahaya putih dengan spektrum kontinu melewati gas yang dingin dan bertekanan rendah, maka gas tersebut akan menyerap cahaya putih

pada panjang gelombang tertentu. Spektrum yang diperoleh berupa spektrum kontinu yang diselingi dengan garis-garis gelap. Spektrum semacam ini disebut spektrum absorpsi.

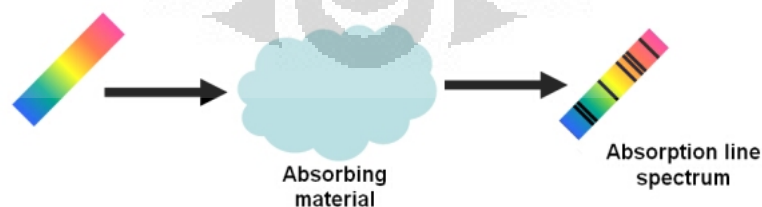
Penjelasan mengenai spektrum radiasi elektromagnetik akan mengacu pada hukum ini. Sehingga analisis mengenai spektrum bintang pun menggunakan hukum Kirchoff ini. Sesuai dengan hukum Kirchoff, spektrum hasil pencitraan dari bintang dapat membentuk tiga macam spektrum:



Gambar 3. Spektrum: (a) kontinu, (b) emisi, (c) absorpsi

2.2.1 Spektrum Absorpsi

Dasar penelitian adalah spektrum absorpsi yang terbentuk ketika atom menyerap foton yang dibutuhkan sebagai energi untuk bertransisi dari level energi yang lebih rendah ke level energi yang lebih tinggi[6]. Spektrum absorpsi biasanya terlihat sebagai garis-garis gelap, atau garis yang intensitasnya berkurang pada spektrum kontinu. Hal ini dapat terlihat dalam spektrum bintang, dimana gas (sebagian besar hidrogen) di lapisan luar bintang menyerap foton.



Gambar 4. Terjadinya Spektrum Absorpsi

2.3 Bintang

2.3.1 Atmosfer Bintang

Hanya bagian luar bintang saja yang dapat dicapai oleh pengamatan teleskop di Bumi. Namun, meski bagian luar bintang yang kita amati, tentu tidak lepas dari struktur-struktur dalam bintang. Meski keadaan di dalam bintang tidak dapat dijangkau oleh pengamatan astronomi di Bumi, pengamat tetap dapat mempelajari struktur di dalam bintang melalui atmosfer bintang tersebut.

Bintang merupakan gas bertekanan tinggi yang energinya dihasilkan oleh inti bintang. Energi dari inti bintang tersebut akan ditransfer melalui atmosfer bintang yang merupakan rantai penghubung dalam pengamatan astrofisika bintang. Atmosfer bintang itu sendiri merupakan kawasan transisi dari interior bintang ke medium antarbintang[6]. Sebagian besar dari spektrum bintang yang terlihat berasal dari wilayah yang disebut 'fotosfer'.

Parameter yang sangat mempengaruhi sifat atmosfer adalah karakteristik suhu atau yang disebut temperatur efektif, yaitu total daya per satuan luas yang dipancarkan oleh sebuah bintang. Selain itu, studi atmosfer bintang juga untuk memahami profil yang bervariasi sehingga akan diketahui perilaku garis untuk menafsirkan sifat-sifat dasar bintang, misalnya, pengukuran temperatur efektif, luminositas, tekanan, gravitasi permukaan, jari-jari, dan kelimpahan kimia[6]. Spektra bintang yang didapat dari hasil penguraian radiasi elektromagnetik berasal dari atmosfer bintang tersebut yang dipengaruhi oleh kerapatan gas dan energi yang terpancar. Hal ini bergantung dari massa dan usia bintang serta pengaruh momentum sudut dan kelimpahan kimianya.

2.3.2 Klasifikasi Bintang

Bintang diklasifikasikan menurut beberapa sistem dengan parameter tertentu. Berdasarkan ciri utama spektrum, Katalog Henry Drap[2] membaginya menjadi beberapa kelas:

1. Kelas O : Garis ion Helium, Oksigen, Nitrogen, Karbon, Silikon dan lain-lain yang terionisasi beberapa kali terlihat. Garis Hidrogen lemah. Temperatur

diatas 25.000 K dengan warna biru.

2. Kelas B : Garis Helium netral terlihat, garis Hidrogen lebih jelas daripada kelas O. Terlihat juga garis ion silikon dan oksigen. Temperatur antara 25.000 - 10.000 K dengan warna biru.

3. Kelas A : Garis hidrogen terkuat pada kelas ini. Garis ion Mg, Si, Fe, Ca dan lain-lain terlihat. Garis logam netral terlihat lemah. Temperatur antara 10.000 - 7.500 K dengan warna biru.

4. Kelas F : Garis Hidrogen lebih lemah dari kelas A tetapi masih jelas. Garis ion Ca, Fe, Cr masih terlihat. Garis logam netral terlihat. Temperatur antara 7.500 - 6.000 K dengan warna biru keputih-putihan.

5. Kelas G : Garis Hidrogen lebih lemah dari kelas F. Garis ion logam dan netral terlihat. Temperatur antara 6.000 - 5.000 K dengan warna putih kekuning-kuningan.

6. Kelas K : Garis logam netral terlihat jelas. Garis Hidrogen lemah sekali. Pita molekul TiO terlihat. Temperatur antara 5.000 - 3.500 K dengan warna jingga kemerah-merahan.

7. Kelas M : Garis logam netral kuat. Pita molekul TiO jelas. Temperatur dibawah 3.500 K dengan warna merah.

Dalam bintang kelas B, A, dan F, hidrogen netral adalah penyerap kontinu yang dominan. Molekul hidrogen muncul dalam jumlah besar di bintang-bintang dingin.

Tiap bintang memiliki tingkat kecermerlangan yang berbeda. Selain berdasarkan ciri utama spektrum, bintang dapat dikelompokkan berdasarkan tingkat kecermerlangan atau magnitudo. Nilai magnitudo yang berdasarkan pada penglihatan visual pengamat disebut magnitudo semu (m) yang ditentukan oleh rumus Pogson:

$$m = -2.5.\log E + konst. \quad (2.2)$$

Dimana E adalah fluks pancaran. Sedangkan kecermerlangan sebenarnya dari suatu bintang ditentukan oleh nilai magnitudo mutlak (M). Yaitu nilai magnitudo yang dilihat dari jarak 10 pc ($1 \text{ pc} = 206.265 \text{ AU} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m}$) dari bintang yang diamati. Hubungan antara magnitudo semu (m) dan magnitudo mutlak (M) dari suatu bintang adalah:

$$m - M = -2.5 \log \frac{E}{E'} \quad (2.3)$$

Intensitas spesifik $B(T)$ dari suatu pancaran bintang ditentukan dengan :

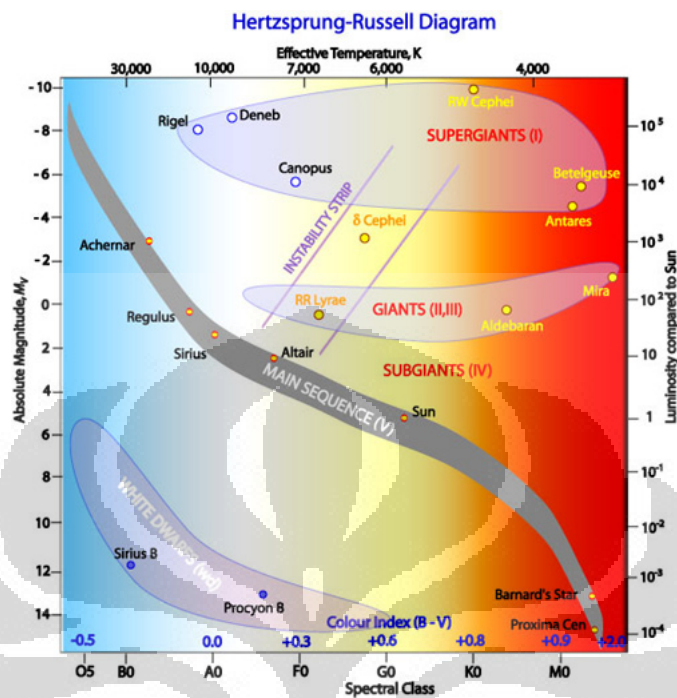
$$B(T) = \int_0^\infty B_\lambda(T) d\lambda = \frac{\sigma}{\pi} T^4 \quad (2.4)$$

dengan $\sigma = \frac{2k^4\pi^5}{15h^3c^2} = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg.cm}^{-2} \text{K}^{-4} \text{s}^{-1}$ yang merupakan tetapan *Stefan-Boltzmann*. Dari intensitas spesifik ini kita dapat menentukan jumlah energi yang dipancarkan oleh tiap luasan permukaan benda hitam per detik ke semua arah :

$$F = \pi B(T) = \sigma T^4 \quad (2.5)$$

dengan F = fluks energi ($\text{erg. cm}^{-2} \text{.s}^{-1}$).

Berdasarkan nilai magnitudo absolut dan kelas spektrum, dapat dibentuk pengelompokan bintang yang dinamakan diagram *Hertzprung-Russel*. Diagram tersebut dibentuk berdasarkan plot 22,000 bintang dari katalog 1000 Hipparcos. Terlihat bahwa bintang cenderung mengelompok membentuk beberapa deretan. Sebagian besar bintang berada di jalur dari kiri atas hingga kanan bawah yang disebut deret utama (main sequence), yang terdiri dari 80% hingga 90% dari jumlah keseluruhan bintang[7]. Matahari termasuk berada dalam jalur deret utama ini.



Gambar 5. Diagram Hertzsprung-Russel

Magnitudo suatu bintang dapat pula dinyatakan dalam indeks warna. Sistem magnitudo yang diusulkan oleh Johnson dan Morgan (1951) yaitu sistem *UBV* adalah :

U = magnitudo semu dalam daerah ultra ungu

B = magnitudo semu dalam daerah biru

V = magnitudo semu dalam daerah kuning atau visual

Berdasarkan sistem magnitudo ini maka dibuatlah pengelompokan bintang berdasarkan kelas luminositasnya[12], yang dikenal dengan Klasifikasi Morgan-Keenan, yaitu :

- Kelas I a : Bintang-bintang maharaksasa yang sangat terang (Supergiants)
- Kelas I b : Bintang-bintang maharaksasa yang kurang terang (Bright Giants)
- Kelas II : Bintang-bintang raksasa yang terang (Giants)
- Kelas III : Bintang-bintang raksasa (Giants)
- Kelas IV : Bintang-bintang sub raksasa (Sub Giants)
- Kelas V : Bintang-bintang deret utama (Main Sequence)
- Kelas VI : Bintang-bintang sub katai (Sub Dwarfs)

2.3.3 Spektrum Bintang

Radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh bintang berupa spektrum kontinu. Ketika spektrum kontinu dilewatkan melalui gas pada temperatur dan tekanan rendah yang tidak lain adalah kromosfer bintang, gas tersebut akan menyerap cahaya untuk panjang gelombang tertentu. Hal ini terjadi karena elektron pada atom dapat berpindah ke level energi yang lebih tinggi dengan menambah energi dari menyerap foton. Atom hanya dapat menyerap cahaya pada energi atau warna tertentu. Energi yang diserap itulah yang akan membuat garis-garis gelap dari spektrum kontinu yang disebut garis serapan. Garis serapan bintang dapat diidentifikasi sebagai elemen kimia atau susunan molekul. Kuat garis serapan yang dilepaskan dari spektrum tergantung dari kelimpahan kimia pada bintang tersebut[6].

Spektrum bintang memiliki pola yang berbeda-beda. Pola ini disebabkan oleh beberapa hal akan mencirikan karakteristik bintang yang memancarkan radiasi tersebut.

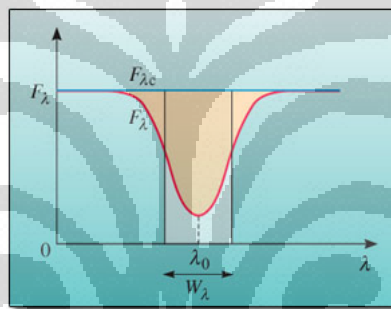
Temperatur adalah variabel yang paling kuat mempengaruhi kuat garis. Hal ini timbul dari ketergantungan eksponensial dan pengaruh dengan T dalam proses eksitasi-ionisasi. Biasanya, kenaikan suhu disebabkan oleh peningkatan eksitasi. Ketika kita berhadapan dengan garis kuat, koefisien absorpsi atom sebanding dengan fungsi temperatur[6].

Efek tekanan dapat dilihat dalam tiga cara. Yang pertama adalah karena perubahan rasio garis dalam menyerap opacity kontinu (ionisasi ekuilibrium), yang kedua muncul dari sensitivitas tekanan garis gamma kuat, dan yang ketiga adalah ketergantungan tekanan linear Stark dalam ekspansi hidrogen. Efek tekanan dalam spektrum bintang yang lebih lemah dari pengaruh suhu. Garis hidrogen memiliki koefisien absorpsi atom yang mana tekanan juga dipengaruhi oleh efek Stark. Garis spektrum bintang tidak berupa garis tajam namun memiliki lebar tertentu. Pelebaran garis spektrum tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti pelebaran Doppler dan efek Stark[8].

Equivalent width dari suatu spektrum bintang merupakan wilayah pada plot intensitas atau fluks dan interval panjang gelombang. Nilai equivalent width berupa garis gelap yang berarti jumlah energi yang berkurang dari keseluruhan spektrum kontinu[9]. Satuan unit intensitas dalam *equivalent width* ini diekspresikan dalam Angstrom. Harga *equivalent width* didapat dari persamaan:

$$W_\lambda = \int \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda \quad (2.6)$$

Dimana F_c adalah intensitas kontinu dari kedua sisi garis absorpsi, sementara f_λ merupakan intensitas di sepanjang wilayah panjang gelombang mengalami absorpsi.



Gambar 6. *Equivalent Width*

Harga intensitas atau fluks absorpsi merupakan jumlah total energi yang diserap per satuan luas per satuan waktu yang dibawa oleh foton.

2.4 Pelebaran Doppler

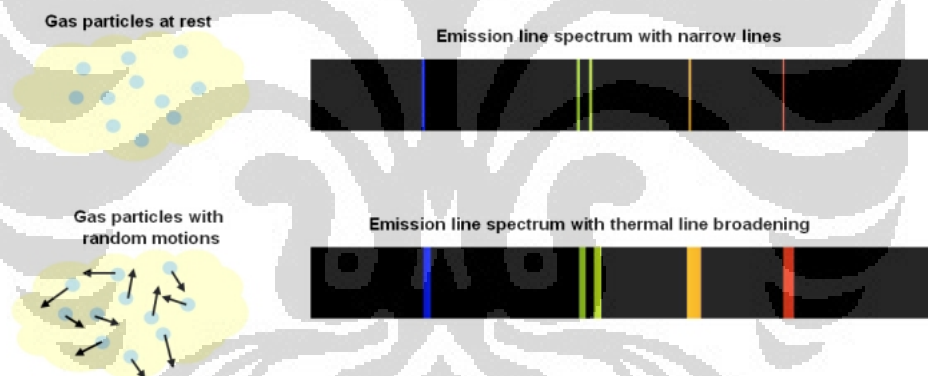
Atom memberikan suatu garis spektrum tidak selalu dalam kondisi diam namun dalam keadaan bergerak ke segala arah[5]. Dalam gas atau plasma, pergerakan atom tersebut dipengaruhi oleh temperatur bintang. Makin tinggi temperatur dalam bintang, akan makin cepat pergerakan atom sesuai dengan persamaan:

$$\left\langle \frac{1}{2}mv^2 \right\rangle = \frac{3}{2}kT \quad (2.7)$$

Bagian sisi kiri persamaan menjelaskan tentang energi kinetik rata-rata. Setiap partikel gas dengan massa m mengikuti distribusi kecepatan Maxwellian,

menghasilkan kecepatan menyebar, v , pada nilai rata-rata. Di sisi kanan persamaan, T adalah temperatur gas dan k adalah konstanta Boltzmann.

Dilihat dari sisi pengamat, setiap atom dapat terlihat bergerak lurus terhadap pengamat, tegak lurus, atau kombinasi keduanya. Ini berarti bahwa setiap garis spektrum yang dipancarkan akan terpengaruh pergeseran Doppler yang relatif terhadap pengamat. Yang menyebabkan setiap atom akan menyerap foton dengan panjang gelombang yang berbeda-beda dan menghasilkan perubahan kecil pada panjang gelombang yang diamati. Hal ini yang menyebabkan terjadinya pelebaran garis spektra bintang[8]. Pelebaran garis spektra karena temperatur medium inilah yang disebut thermal Doppler broadening. Berikut adalah contoh pelebaran spektrum garis emisi akibat thermal Doppler broadening.



Gambar 7. efek *Thermal Doppler Broadening*

Sehingga pelebaran garis spektra akibat Doppler broadening dapat direpresentasikan melalui pendekatan:

$$\Delta\lambda \approx \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (2.8)$$

Bab 3

Metodologi Penelitian

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kelimpahan unsur Hidrogen bintang-bintang kelas deret utama menurut pengaruh pelebaran Doppler.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Observatorium Bosscha Departemen Astronomi ITB. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Juni-Juli untuk pengambilan data dan bulan Februari-Mei untuk pembahasan hasil penelitian.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan melakukan eksperimen pengambilan data langsung dari objek menggunakan instrumen khusus untuk kemudian dianalisa. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan proses komputasi. Studi secara pustaka dilakukan sebagai analisis terhadap hasil pengolahan data tersebut untuk mencapai kesimpulan yang sesuai.

3.4 Objek Penelitian

Objek pengamatan adalah sumber titik cahaya bintang dari katalog bintang HR. Berikut adalah tabel objek yang diamati berdasarkan nama objek, aksensio rekta (R.A), deklinasi (DE), magnitudo (m), dan kelas Morgan-Keenan (MK Class).

Tabel 1. Objek Pengamatan

No.	Nama Objek	R.A	DE	<i>m</i>	MK <i>Class</i>
1	HR 5664	15 ^h 16 ^m 56.7 ^s	- 60°57'27"	5.09	O8.5 V
2	HR 6175	16 ^h 37 ^m 09.5 ^s	- 10°34'02"	2.56	O9.5 V
3	HR 7121	18 ^h 55 ^m 18.9 ^s	- 26°17'48"	2.03	B2.5 V
4	HR 5685	15 ^h 17 ^m 00.4 ^s	- 09°22'59"	2.61	B8 V
5	HR 8781	23 ^h 04 ^m 45.7 ^s	+ 15°12'19"	2.49	B9 V
6	HR 5793	15 ^h 34 ^m 41.2 ^s	+ 26°42'53"	2.24	A0 V
7	HR 6378	17 ^h 10 ^m 22.7 ^s	- 29°37'20"	2.43	A2 V
8	HR 8728	22 ^h 57 ^m 39.1 ^s	- 29°37'20"	1.16	A3 V
9	HR 7557	19 ^h 50 ^m 47.0 ^s	+ 08°52'06"	0.77	A7 V
10	HR 5570	14 ^h 57 ^m 11.0 ^s	- 04°20'47"	4.49	F0 V
11	HR 9072	23 ^h 59 ^m 35.7 ^s	+ 06°53'38"	4.01	F3 V
12	HR 5933	15 ^h 56 ^m 27.2 ^s	+ 15°39'42"	3.85	F6 V
13	HR 4983	13 ^h 11 ^m 52.4 ^s	+ 27°52'41"	4.26	F9.5 V
14	HR 5868	15 ^h 46 ^m 26.6 ^s	+ 07°21'11"	4.43	G0 V
15	HR 5459	14 ^h 39 ^m 59.6 ^s	- 60°50'21"	-0.01	G2 V
16	HR 7597	19 ^h 55 ^m 50.4 ^s	- 26°17'58"	4.7	G5 V
17	HR 6378	13 ^h 18 ^m 44.8 ^s	- 18°20'50"	4.74	G6.5 V
18	HR 5460	14 ^h 39 ^m 57.1 ^s	- 60°51'37"	1.33	K1 V
19	HR 7703	20 ^h 11 ^m 11.9 ^s	- 36°06'04"	5.32	K3 V
20	HR 8387	22 ^h 03 ^m 21.0 ^s	- 56°47'10"	4.67	K5 V

3.5 Teknik Pengambilan Data

Data diambil dengan mendeteksi radiasi yang dipancarkan oleh bintang untuk kemudian diuraikan dengan *Bosscha Compact Spectrograph* (BCS) [10] yang dipasangkan pada teleskop *Double Refractor Zeiss* dengan diameter 60 cm dan panjang fokus 1080 cm.

Cahaya yang datang dari teleskop akan melewati celah (slit) yang membatasi cahaya masuk. Cahaya itu kemudian dibiaskan oleh lensa kolimator agar masuk sejajar ke pengurai cahaya. Kisi menguraikan cahaya dengan merefleksikan

/ mentransmisikan cahaya datang yang berinterferensi sehingga hanya panjang gelombang tertentu yang akan teramati. Cahaya yang diuraikan kemudian akan dideteksi oleh detektor untuk kemudian divisualisasikan ataupun direkam oleh kamera.

Prosedur prinsip spektroskopi point sources untuk pilihan kisi tertentu:

1. Pengambilan citra bias sebagai kalibrator awal.
2. Pengaturan sudut kisi bergantung panjang gelombang.
3. Pengambilan spektrum pembanding (dapat juga dilakukan setelah perekaman spektrogram obyek).
4. Perekaman spektrogram obyek pengamatan dengan waktu integrasi berdasarkan kebutuhan nisbah sinyal terhadap derau (S-N ratio).
5. Pengambilan citra dark (atau menggunakan autodark subtraction dalam pengambilan spektrogram obyek) sesuai dengan waktu integrasi perekaman spektrogram obyek. Berfungsi untuk merekam noise.
6. Pengambilan citra medan-datar (flat-field image) pada sudut kisi yang bersesuaian.

Salah satu contoh prosedur pengambilan citra spektrum obyek pengamatan sebagai berikut:

1. Pengambilan citra bias sebagai kalibrator (dilakukan beberapa kali)
 2. Pointing teleskop ke objek
 3. Pengambilan citra dark
 4. Pengambilan spektrum pembanding
 5. Pengambilan citra dark
 6. Pengambilan citra dark
 7. Pengambilan citra spektrum obyek pengamatan
 8. Pengambilan citra dark
 9. Pengambilan citra dark
 10. Pengambilan spektrum pembanding
 11. Pengambilan citra dark
- Poin 2 - 11 dilakukan satu paket pada setiap obyek pengamatan
12. Pengambilan citra dark

13. Pengambilan citra flat
14. Pengambilan citra dark

Poin 12 - 14 dilakukan beberapa kali

Spektrum hasil penguraian oleh spektrograf kemudian direkam secara digital dengan kamera *Charge Coupled Device* (CCD) SBIG ST-8XE [11] . Akuisisi citra spektrum dilakukan dengan piranti lunak CCDops. Disimpan dalam format FITS (*Flexible Image Transport System*) yang merupakan format baku citra digital dalam astronomi.

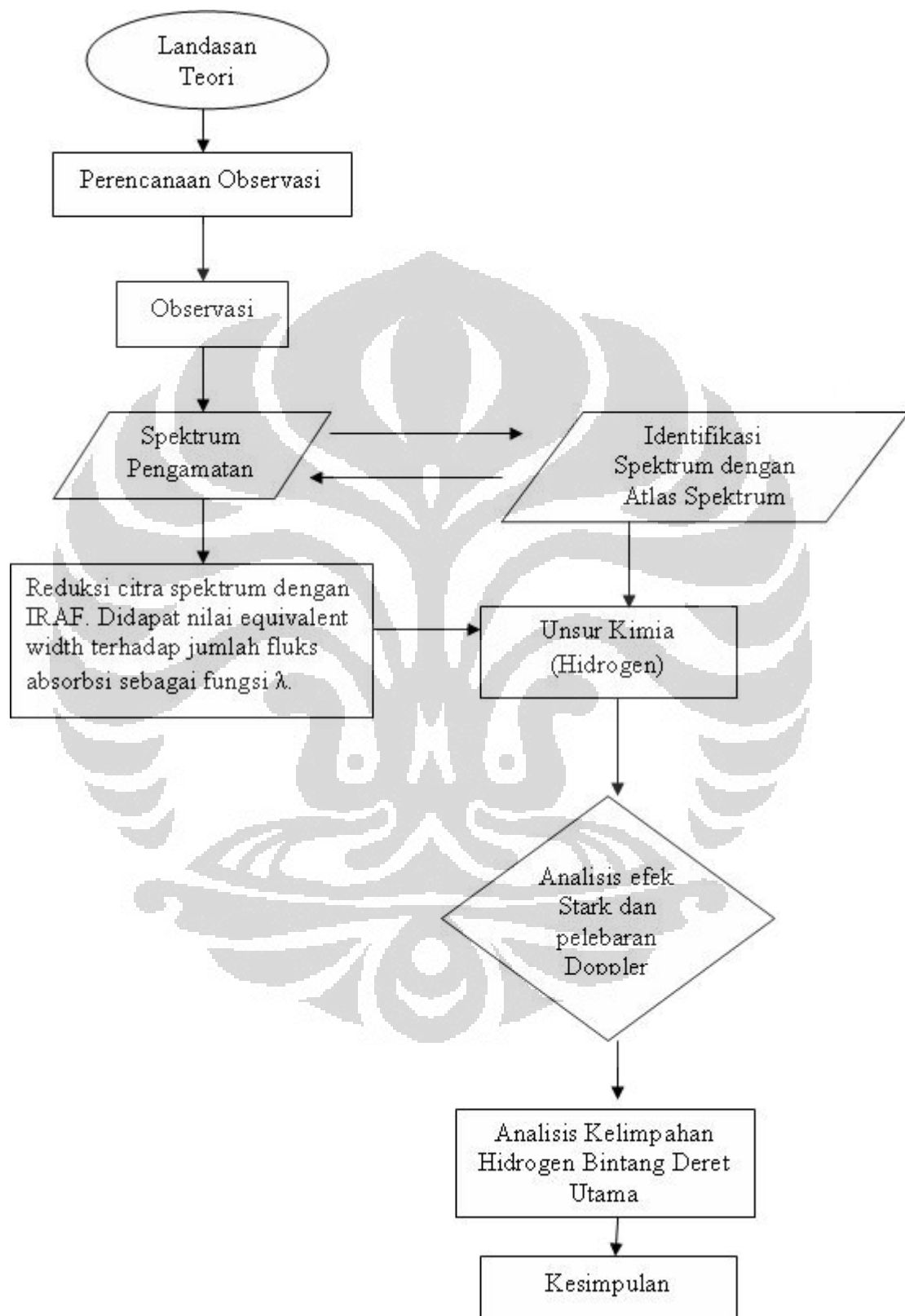
Untuk mereduksi, mengolah dan menganalisis citra spektrum hasil pengamatan, digunakan piranti lunak IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*)[12] pada Linux.

3.6 Instrumen Penelitian

Instrumen-instrumen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

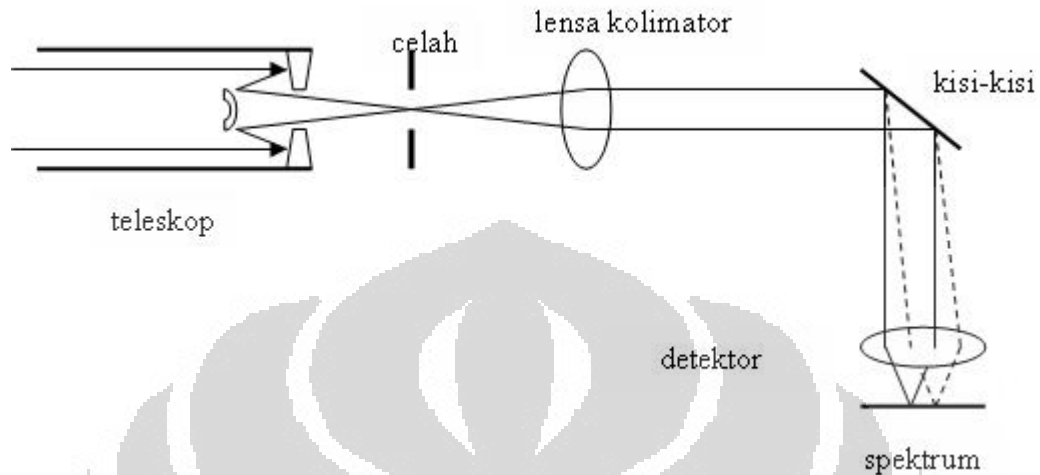
1. Teleskop *Double Refractor Zeiss* dengan diameter 60 cm dan panjang fokus 1080 cm.
2. *Bosscha Compact Spectrograph* (BCS).
3. Kamera *Charge Coupled Device* (CCD) SBIG ST-8XE.
4. Komputer.
5. Software-software yang berkaitan dengan spektroskopi (CCDops, IRAF, dll).

3.7 Alur Penelitian



Gambar 8. Alur Penelitian

3.8 Desain Penelitian



Gambar 9. Skema Penelitian

3.9 Teknik Analisa Data

Teknik-teknik analisa yang digunakan untuk menganalisis adalah :

1. Proses citra baku.
2. Ekstraksi spektrum 2 dimensi menjadi citra spektrogram.
3. Kalibrasi panjang gelombang.
4. Kalibrasi fluks..

3.10 Tabel Pengamatan

Data yang diambil pada penelitian ini adalah data dari citra pada detektor untuk mendapatkan fluks dan panjang gelombang . Data tersebut terdiri dari :

1. Citra baku hasil perekaman oleh CCD.
2. Citra kalibrasi.
3. Citra spektrum hasil dari citra spektrogram.
4. Data panjang gelombang dan fluks pancaran dari objek yang diamati.
5. Data *equivalent width* dan fluks serapan dari objek yang diamati.

Format Observasi:

Nama Pengamat : Γ Hari/Tanggal :

Waktu :

Teleskop :

Detektor :

Lokasi :

Temperatur :

Kelembaban :

Tabel 2. Tabel Data Pengamatan

No.	Nama Objek	Panjang Gelombang	<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
1				
2				
.				
.				
.				
.				
.				
.				
.				
n				

Bab 4

Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian ini merupakan penghitungan terhadap ekstraksi spektrum dari citra spektrogram. Terdapat 20 buah bintang HR yang diamati spektrumnya. Berdasarkan spektrum tersebut kemudian dilakukan perhitungan panjang gelombang, equivalent width dan fluks absorpsi untuk kemudian dianalisis berdasarkan pengaruh pelebaran Doppler dan linear Stark broadening. Dari kedua pengaruh tersebut dapat dilihat perubahan nilai equivalent width dan fluks absorpsi kelimpahan Hidrogen berdasarkan kelas spektrum bintang.

Seluruh pengambilan data dilakukan dengan CCD SBIG ST-8 XE [20] menggunakan software CCDOps[21]. Untuk proses citra baku, ekstraksi spektrum menjadi citra spektrogram hingga kalibrasi fluks dilakukan dengan menggunakan software *Image Reduction and Analysis Facilities* (IRAF) dengan menggunakan LINUX. Hasil dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bintang HR 5664

Tabel 3. Hasil perhitungan bintang HR 5664

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
3.542	-6.19E-11
3.268	-5.67E-11
2.533	-3.46E-11
3.605	-6.2E-11
2.340	-4.03E-11
<i>Equivalent Width</i>	3.267
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.383
Fluks Absorpsi	-5.653E-11
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	9.36E-12

Equivalent Width : 3.2669

Fluks Absorpsi : $-5.6529 \cdot 10^{-11}$

Panjang Gelombang : 6560.189

Kelas : O8.5 V

2. Bintang HR 6175

Tabel 4. Hasil perhitungan bintang HR 6175

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
2.815	-4.08E-10
3.421	-5.02E-10
3.863	-5.69E-10
3.653	-5.33E-10
3.361	-4.87E-10
<i>Equivalent Width</i>	3.421
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.394
Fluks Absorpsi	-5.017E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	4.96E-12

Equivalent Width : 3.426

Fluks Absorpsi : $-5.017 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6558.785

Kelas : O9.5 V

3. Bintang HR 7121

Tabel 5. Hasil perhitungan bintang HR 7121

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
5.804	-1.59E-9
4.918	-1.35E-9
5.028	-1.38E-9
5.406	-1.48E-9
4.495	-1.22E-9
<i>Equivalent Width</i>	5.024
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.046
Fluks Absorpsi	-1.38E-9
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	1.31E-13

Equivalent Width : 5.024

Fluks Absorpsi : $-1.38 \cdot 10^{-9}$

Panjang Gelombang : 6562.469

Kelas : B2.5 V

4. Bintang HR 5685

Tabel 6. Hasil perhitungan bintang HR 5685

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
6.296	-9.3E-10
6.79	-1.01E-9
6.398	-9.53E-10
5.531	-8.15E-10
6.189	-9.16E-10
<i>Equivalent Width</i>	6.249
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.091
Fluks Absorpsi	-9.264E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	1.12E-11

Equivalent Width : 6.249

Fluks Absorpsi : $-9.264 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6559.843

Kelas : B8 V

5. Bintang HR 8781

Tabel 7. Hasil perhitungan bintang HR 8781

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
10.142	-1.69E-9
8.187	-1.36E-9
9.178	-1.53E-9
8.543	-1.42E-9
8.141	-1.34E-9
<i>Equivalent Width</i>	8.585
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.485
Fluks Absorpsi	-1.42E-9
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	5.73E-11

Equivalent Width : 8.585

Fluks Absorpsi : $-1.42 \cdot 10^{-9}$

Panjang Gelombang : 6558.417

Kelas : B9 V

6. Bintang HR 5793

Tabel 8. Hasil perhitungan bintang HR 5793

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
11.279	-1.7E-9
12.784	-1.95E-9
12.476	-1.89E-9
12.074	-1.84E-9
11.808	-1.79E-9
<i>Equivalent Width</i>	12.074
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.022
Fluks Absorpsi	-1.84E-9
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	4.47-13

Equivalent Width : 12.074

Fluks Absorpsi : $-1.84 \cdot 10^{-9}$

Panjang Gelombang : 6558.503

Kelas : A0 V

7. Bintang HR 6378

Tabel 9. Hasil perhitungan bintang HR 6378

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
11.193	-2.17E-9
12.727	-2.49E-9
11.057	-2.14E-9
12.398	-2.43E-9
12.642	-2.48E-9
<i>Equivalent Width</i>	12.414
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.285
Fluks Absorpsi	-2.39E-9
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	6.44E-11

Equivalent Width : 12.414

Fluks Absorpsi : $-2.39 \cdot 10^{-9}$

Panjang Gelombang : 6558.503

Kelas : A2 V

8. Bintang HR 8728

Tabel 10. Hasil perhitungan bintang HR 8728

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
12.039	-1.02E-8
13.078	-1.12E-8
11.259	-9.53E-9
11.854	-1.07E-8
11.307	-9.49E-9
<i>Equivalent Width</i>	11.875
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.117
Fluks Absorpsi	-1.02E-8
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	1.07E-11

Equivalent Width : 11.875

Fluks Absorpsi : $-1.024 \cdot 10^{-8}$

Panjang Gelombang : 6561.304

Kelas : A3 V

9. Bintang HR 7557

Tabel 11. Hasil perhitungan bintang HR 7557

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
9.547	-1.66E-8
9.363	-1.65E-8
9.69	-1.69E-8
9.309	-1.64E-8
10.713	-1.89E-8
<i>Equivalent Width</i>	9.681
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.068
Fluks Absorpsi	-1.69E-8
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	2.23E-10

Equivalent Width : 9.68

Fluks Absorpsi : $-1.69 \cdot 10^{-8}$

Panjang Gelombang : 6562.491

Kelas : A7 V

10. Bintang HR 5570

Tabel 12. Hasil perhitungan bintang HR 5570

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
6.431	-1.9E-10
6.217	-1.87E-10
5.705	-1.7E-10
5.29	-1.59E-10
6.537	-1.93E-10
<i>Equivalent Width</i>	6.22
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.144
Fluks Absorpsi	-1.87E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	6.35E-12

Equivalent Width : 6.22

Fluks Absorpsi : $-1.87 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6561.227

Kelas : F0 V

11. Bintang HR 9072

Tabel 13. Hasil perhitungan bintang HR 9072

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
4.763	-3.03E-10
4.905	-3.15E-10
3.903	-2.48E-10
4.297	-2.74E-10
4.434	-2.83E-10
<i>Equivalent Width</i>	4.434
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.056
Fluks Absorpsi	-2.83E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	3.48E-12

Equivalent Width : 4.434

Fluks Absorpsi : $-2.83 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6562.884

Kelas : F3 V

12. Bintang HR 5933

Tabel 14. Hasil perhitungan bintang HR 6175

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
4.71	-2.08E-10
7.351	-3.29E-10
6.049	-2.87E-10
6.148	-2.74E-10
6.589	-2.95E-10
<i>Equivalent Width</i>	6.146
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.046
Fluks Absorpsi	-2.78E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	9.74E-12

Equivalent Width : 6.146

Fluks Absorpsi : $-2.78 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6558.793

Kelas : F6 V

13. Bintang HR 4983

Tabel 15. Hasil perhitungan bintang HR 4983

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
4.98	-1.75E-10
4.773	-1.67E-10
4.389	-1.53E-10
3.785	-1.14E-10
4.501	-1.64E-10
<i>Equivalent Width</i>	4.499
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.035
Fluks Absorpsi	-1.54E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	3.69E-12

Equivalent Width : 4.499

Fluks Absorpsi : $-1.54 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6557.834

Kelas : F9.5 V

14. Bintang HR 5868

Tabel 16. Hasil perhitungan bintang HR 5868

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
2.963	-9.09E-11
3.605	-1.12E-10
5.663	-1.8E-10
5.688	-1.8E-10
5.941	-1.9E-10
<i>Equivalent Width</i>	5.677
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.123
Fluks Absorpsi	-1.8E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	3.88E-12

Equivalent Width : 5.677

Fluks Absorpsi : $-1.8 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6556.884

Kelas : G0 V

15. Bintang HR 5459

Tabel 17. Hasil perhitungan bintang HR 5459

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
2.764	-5.86E-9
1.987	-4.21E-9
1.944	-4.16E-9
2.639	-5.69E-9
2.063	-4.47E-9
<i>Equivalent Width</i>	2.062
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.004
Fluks Absorpsi	-4.47E-9
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	3.72E-11

Equivalent Width : 2.062

Fluks Absorpsi : $-4.47 \cdot 10^{-9}$

Panjang Gelombang : 6561.458

Kelas : G2 V

16. Bintang HR 7597

Tabel 18. Hasil perhitungan bintang HR 7597

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
3.242	-1.21E-10
3.729	-1.4E-10
4.095	-1.53E-10
3.574	-1.32E-10
4.166	-1.56E-10
<i>Equivalent Width</i>	2.726
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.058
Fluks Absorpsi	-1.29E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	7.63E-12

Equivalent Width : 3.726

Fluks Absorpsi : $-1.39 \cdot 10^{-10}$

Panjang Gelombang : 6561.488

Kelas : G5 V

17. Bintang HR 5019

Tabel 19. Hasil perhitungan bintang HR 5019

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
2.549	-6.32E-11
3.012	-7.54E-11
2.351	-5.83E-11
3.851	-9.7E-11
4.108	-1.04E-10
<i>Equivalent Width</i>	3.012
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.043
Fluks Absorpsi	-7.54E-10
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	1.17E-12

Equivalent Width : 3.012

Fluks Absorpsi : -7.54×10^{-10}

Panjang Gelombang : 6561.533

Kelas : G6.5 V

18. Bintang HR 5460

Tabel 20. Hasil perhitungan bintang HR 5460

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
2.003	-1.55E-9
2.203	-1.73E-9
1.864	-1.45E-9
1.955	-1.53E-9
2.899	-2.59E-9
<i>Equivalent Width</i>	2.199
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.043
Fluks Absorpsi	-1.71E-9
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	8.44E-11

Equivalent Width : 2.199

Fluks Absorpsi : -1.71×10^{-9}

Panjang Gelombang : 6561.036

Kelas : K1 V

19. Bintang HR 7703

Tabel 21. Hasil perhitungan bintang HR 7703

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
2.059	-5.11E-11
3.165	-7.95E-11
2.735	-6.82E-11
3.641	-9.18E-11
2.921	-7.4E-11
<i>Equivalent Width</i>	2.921
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.038
Fluks Absorpsi	-7.39E-11
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	2.37E-12

Equivalent Width : 2.921

Fluks Absorpsi : -7.39×10^{-11}

Panjang Gelombang : 6558.902

Kelas : K3 V

20. Bintang HR 8387

Tabel 22. Hasil perhitungan bintang HR 8387

<i>Equivalent Width</i>	Fluks Absorpsi
1.427	-7.49E-11
2.231	-1.19E-10
1.597	-8.25E-11
1.89	-9.8E-11
<i>Equivalent Width</i>	1.427
Std. Deviasi <i>Equivalent Width</i>	0.003
Fluks Absorpsi	-7.49E-11
Std. Deviasi Fluks Absorpsi	3.87E-14

Equivalent Width : 1.427

Fluks Absorpsi : -7.49×10^{-11}

Panjang Gelombang : 6560.88

Kelas : K5 V

4.2 Pembahasan

1. Bintang HR 5664

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6560.189 dengan fluks absorpsi -5.65310^{-11} dan data referensi temperatur 33,113 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 1.0210^{-8}$

2. Bintang HR 6175

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6558.785 dengan fluks absorpsi -5.01710^{-10} dan data referensi temperatur 30,974 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 9.8910^{-9}$

3. Bintang HR 7121

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6562.469 dengan fluks absorpsi -1.37910^{-9} dan data referensi temperatur 20,200 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 7.9910^{-9}$

4. Bintang HR 5685

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6559.843 dengan fluks absorpsi 9.26510^{-10} dan data referensi temperatur 12,500 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 6.2910^{-9}$

5. Bintang HR 8781

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6562.235 dengan fluks absorpsi -1.42410^{-9} dan data referensi temperatur 9,908 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 5.5910^{-9}$

6. Bintang HR 5793

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6558.417 dengan fluks absorpsi -1.83610^{-9} dan data referensi temperatur 9,900 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 5.5910^{-9}$

7. Bintang HR 6378

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6558.503 dengan fluks absorpsi -2.39410^{-9} dan data referensi temperatur 9,000 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 5.3310^{-9}$

8. Bintang HR 8728

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6561.304 dengan fluks absorpsi -1.02410^8 dan data referensi temperatur 8,670 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 5.2310^{-9}$

9. Bintang HR 7557

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6562.481 dengan fluks absorpsi -1.69210^9 dan data referensi temperatur 7,998 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 5.0310^{-9}$

10. Bintang HR 5570

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6561.227 dengan fluks absorpsi -1.86910^{10} dan data referensi temperatur 7,014 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.7110^{-9}$

11. Bintang HR 9072

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling

banyak pada panjang gelombang 6562.884 dengan fluks absorpsi -2.82910^{-10} dan data referensi temperatur 7,000 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.710^{-9}$

12. Bintang HR 6338

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6558.793 dengan fluks absorpsi -2.78110^{-10} dan data referensi temperatur 6,338 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.4710^{-9}$

13. Bintang HR 4983

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6557.834 dengan fluks absorpsi -1.53610^{-10} dan data referensi temperatur 5,874 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.3110^{-9}$

14. Bintang HR 5868

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6556.844 dengan fluks absorpsi -1.90110^{-10} dan data referensi temperatur 6,030 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.3610^{-9}$

15. Bintang HR 5459

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6561.458 dengan fluks absorpsi -4.46810^{-9} dan data referensi temperatur 5,800 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.2310^{-9}$

16. Bintang HR 7597

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6561.488 dengan fluks absorpsi -1.39910^{-10} dan data referensi temperatur 5,520 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk

mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.1810^{-9}$

17. Bintang HR 5019

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6561.533 dengan fluks absorpsi -7.53910^{-10} dan data referensi temperatur 5,649 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 4.2210^{-9}$

18. Bintang HR 5460

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6561.036 dengan fluks absorpsi -1.70910^9 dan data referensi temperatur 5,000 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 3.9810^{-9}$

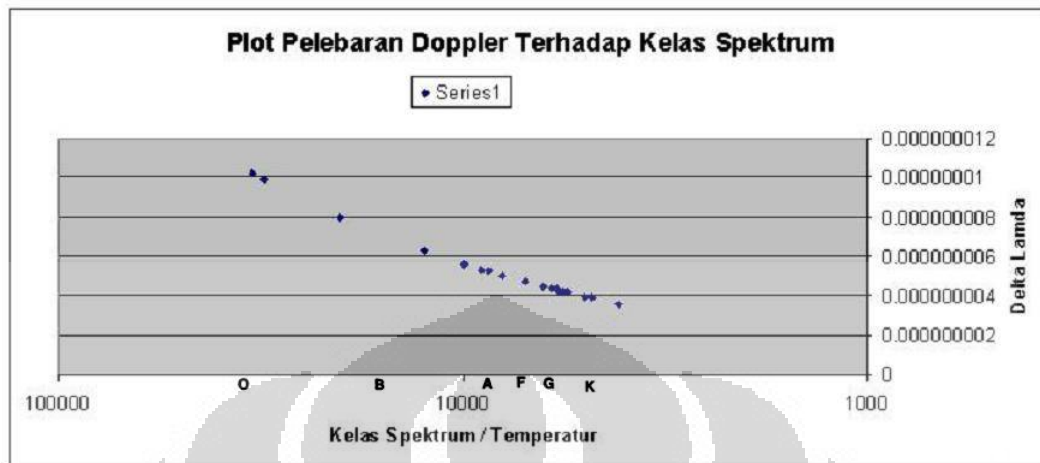
19. Bintang HR 7703

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6558.902 dengan fluks absorpsi -7.38610^{-10} dan data referensi temperatur 4,800 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 3.8910^{-9}$

20. Bintang HR 8387

Citra dari spektrum ini menunjukkan bahwa atom hidrogen menyerap paling banyak pada panjang gelombang 6560.88 dengan fluks absorpsi -7.5910^{-11} dan data referensi temperatur 4,130 K. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efek pelebaran Doppler, didapat $\Delta\lambda 3.6110^{-9}$

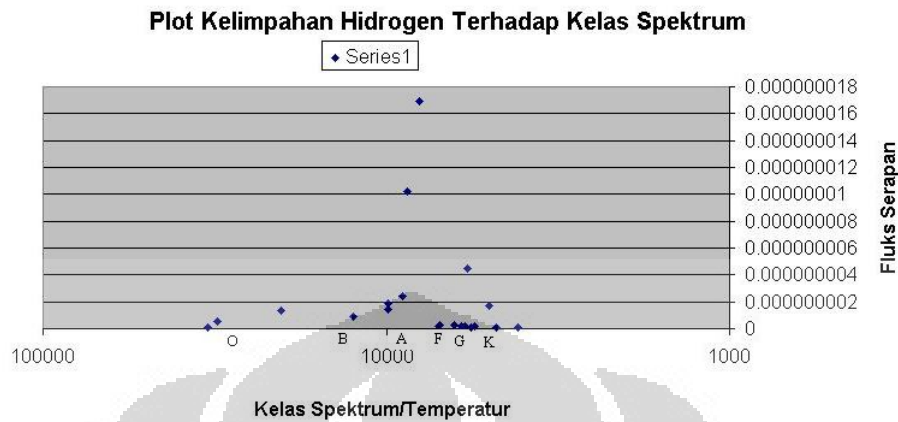
Dari keseluruhan nilai $\Delta\lambda$, dapat dibuat plot pengaruh pelebaran Doppler terhadap kelas spektrum bintang.



Gambar 10. Plot Pelebaran Doppler terhadap Kelas Spektrum

Dari hasil plot grafik dapat dilihat bahwa temperatur sangat berpengaruh terhadap pelebaran Doppler. Nilai temperatur untuk analisis didapat dari referensi penelitian sebelumnya [13]. Ketika sebuah bintang memiliki temperatur sangat tinggi (bintang kelas O), nilai pelebaran Doppler sangat besar. Hal ini disebabkan oleh temperatur yang tinggi akan mengakibatkan pergerakan acak atom sangat tinggi dan cepat. Sehingga tiap-tiap atom menyerap di panjang gelombang yang berbeda. Pada bintang kelas B dan A, nilai pelebaran doppler semakin menurun. Temperatur yang mulai rendah membuat pergerakan atom menurun pula. Bintang-bintang di kelas F, G, dan K menunjukkan kondisi pergerakan atom lebih stabil. Hal ini dapat dilihat dari nilai pelebaran Doppler yang mengecil. Nilai pelebaran Doppler terus menurun seiring dengan menurunnya temperatur bintang.

Plot grafik ini sesuai dengan teori Maxwell-Boltzman[14] tentang distribusi kecepatan dan kondisi kinetik termal. Sehingga hasil plot ini dapat memberi informasi mengenai evolusi bintang. Selain itu, dengan analisis lebih lanjut akan dapat diketahui harga distribusi kecepatan masing-masing bintang.



Gambar 11. Plot Kelimpahan Hidrogen terhadap Kelas Spektrum

Penyerapan energi dari luar menyebabkan atom berpindah ke atas atau bertransisi ke tingkat energi yang lebih tinggi disebut eksitasi. Dari proses penyerapan ini, akan didapat nilai fluks untuk mengidentifikasi jumlah unsur kimia yang terdapat dalam objek bintang. Kemampuan atom untuk berpindah dari satu tingkat energi ke tingkat energi lain dipengaruhi oleh banyak banyak hal. Temperatur adalah faktor paling berpengaruh dalam transisi atom. Dan reaksi fusi yang terjadi pada bintang mengakibatkan unsur berubah menjadi unsur yang lebih berat.

Dari hasil observasi pada objek yang diteliti, plot grafik menunjukkan kelimpahan unsur hidrogen pada kelas Morgan-Keenan berubah berdasarkan perubahan temperatur. Pada bintang di kelas O yang memiliki temperatur tertinggi, kelimpahan hidrogen rendah yang disebabkan semua atom hidrogen terionisasi sempurna. Pada bintang di kelas B, kelimpahan hidrogen mulai tampak. Sebagian hidrogen masih ada yang tereksitasi namun karena temperatur tidak terlalu tinggi, kelimpahan atom hidrogen masih terlihat. Bintang di kelas A dan F menunjukkan kelimpahan unsur hidrogen terbanyak. Hal ini disebabkan temperatur yang masih menyebabkan perpindahan atom hidrogen ke tingkat energi yang lebih tinggi, namun tidak sampai terionisasi sempurna. Sedangkan bintang di kelas G dan K, kelimpahan unsur hidrogen tampak lemah karena temperatur rendah. Selain itu juga disebabkan oleh mulai berkurangnya unsur hidrogen karena terjadi reaksi fusi menjadi unsur yang lebih berat.

Bab 5

Kesimpulan dan Saran


5.1 Kesimpulan

Radiasi elektromagnetik yang sampai ke Bumi dipengaruhi oleh banyak hal seperti efek pelebaran Doppler akibat pergerakan acak atom. Sehingga spektrum dari suatu unsur bintang juga terpengaruh oleh pelebaran Doppler ini. Kelimpahan hidrogen yang menjadi objek analisis menunjukkan bahwa pelebaran doppler mempengaruhi bentuk spektrumnya. Untuk bintang kelas O yang memiliki nilai temperatur tertinggi, nilai Δ_λ adalah 1.02311×10^{-08} . Dan untuk bintang kelas K yang memiliki nilai temperatur terendah, nilai Δ_λ adalah 3.61362×10^{-09} . Dari nilai $\Delta_{\lambda_{\text{hidrogen}}}$ untuk masing-masing sampel bintang pada unsur hidrogen, dapat dilihat perubahan evolusi bintang dari masing-masing kelas.

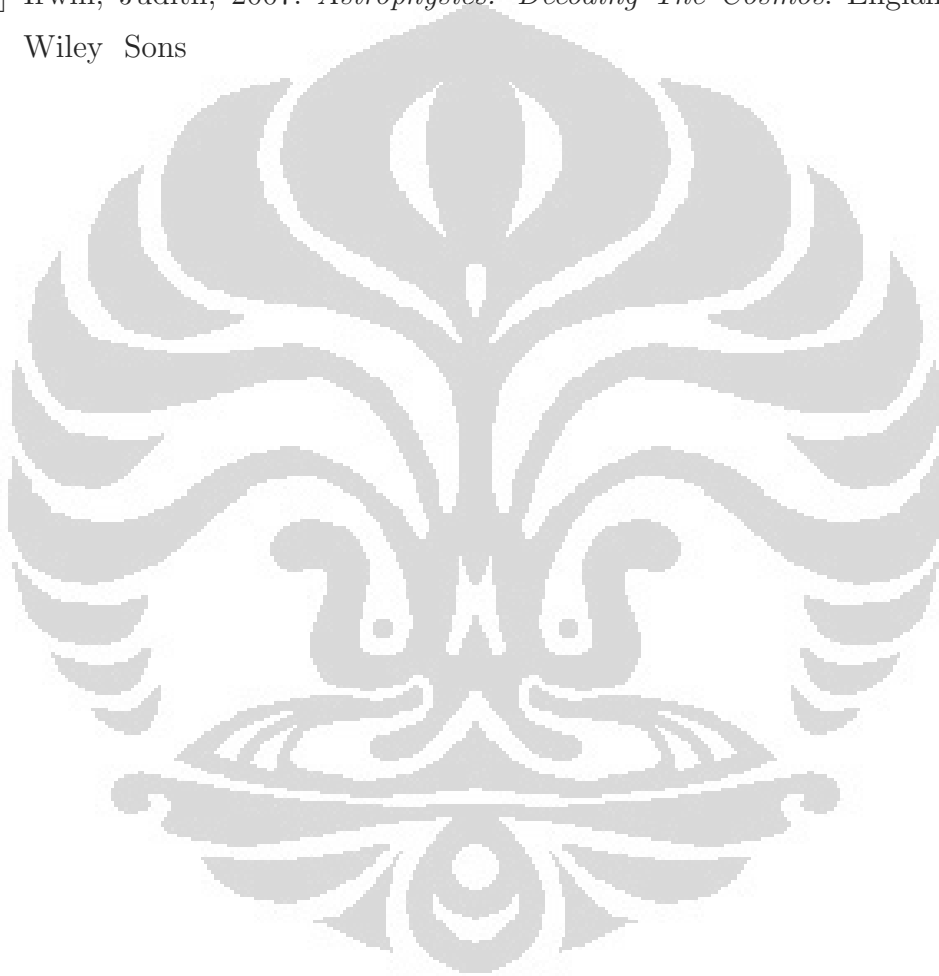
5.2 Saran

Untuk studi selanjutnya, dari hasil observasi ini kita dapat meneliti lebih jauh mengenai kecepatan distribusi atom pada bintang. Diharapkan dengan mengetahui nilai pelebaran Doppler, kita dapat mengetahui tahap evolusi bintang.

Daftar Acuan

- 
- [1] Karttunen, Hannu, 2005. *Fundamental Astronomy: 5th Edition*. London: Springer Berlin Heidelberg.
- [2] Sutantyo, W, 1984. *Astrofisika: Mengenal Bintang*. Bandung: Penerbit ITB
- [3] Carrol, Bradley. W, 2007. *An Introduction to Modern Astrophysics: 2nd Edition*. New York: Addison Wesley.
- [4] Keith, Robinson, 2007. *Spectroscopy The Key to The Stars*. London: Springer Verlag.
- [5] Aller, L. H, 1991. *Atom, Stars, and Nebulae: 3rd edition*. Cambridge: University Press.
- [6] Gray, David. F, 1992. *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres: 2nd Edition*. Cambridge: University Press
- [7] Kippenhahn, R, 1990. *Stellar Structure and Evolution*. New York: Springer-Verlag.
- [8] Griem, Hans. R, 1997. *Principles of Plasma Spectroscopy*. Cambridge: University Press.
- [9] Tatum, J. B, 2006. *Stellar Atmosphere*. E-book from <http://orca.phys.uvic.ca/>.
- [10] Malasan, L. H, 2004. *Bosscha Compact Spectrograph (BCS): Potensi dan Prospek dalam Sains Antariksa*. Seminar Nasional Sains Antariksa II.
- [11] Buil, Christian, 1991. *CCD Astronomy*. Virginia: Willman-Bell.

- [12] Anderson, Ed, 1989. *An Introductory User's Guide to IRAF script*. Association of Universities of Research in Astronomy.
- [13] Allen, C.W, 1973. *Astrophysical Quantities : 3rd edition*. London : University of London. The Athlone Press.
- [14] Irwin, Judith, 2007. *Astrophysics: Decoding The Cosmos*. England: John Wiley Sons



Lampiran A

Notasi

Dalam astrofisika, pada umumnya digunakan satuan cgs (centimeter, gram, sekon) untuk besaran fisika kecuali pada hal khusus. Untuk satuan temperatur digunakan derajat Kelvin (K) dengan $273\text{ K} = 0$ derajat Celcius.

$$\text{kecepatan cahaya } c = 3 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$$

$$\text{tetapan Planck } h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg s}$$

$$\text{massa atom hidrogen } m_H = 1.673 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$\text{tetapan Stefan-Boltzman } \sigma = 5.669 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ T}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

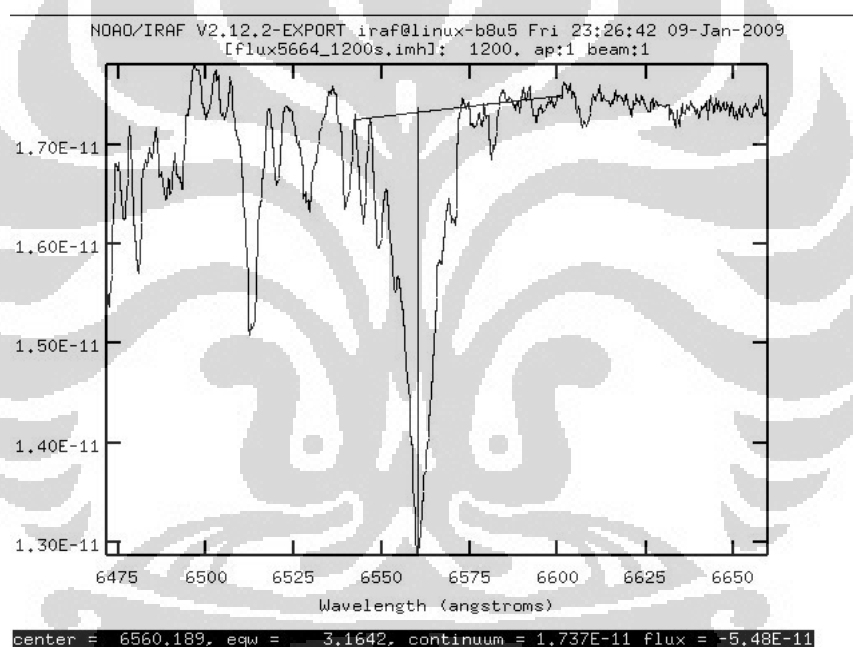
$$\text{tetapan Boltzman } k = 1.380 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$$

$$1 \text{ elektronvolt eV} = 1.60207 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

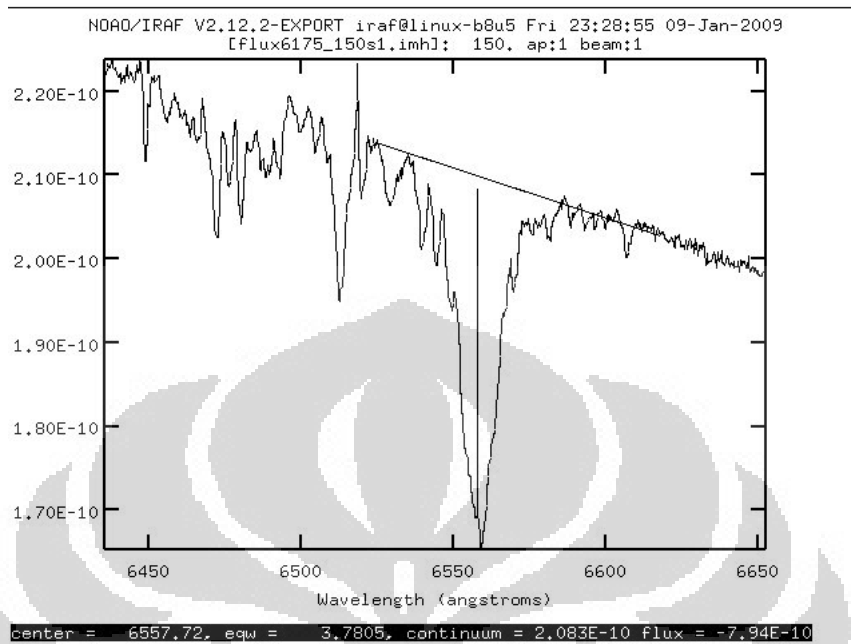
$$1 \text{ Angstrom} = 10^{-8} \text{ cm}$$

Lampiran B

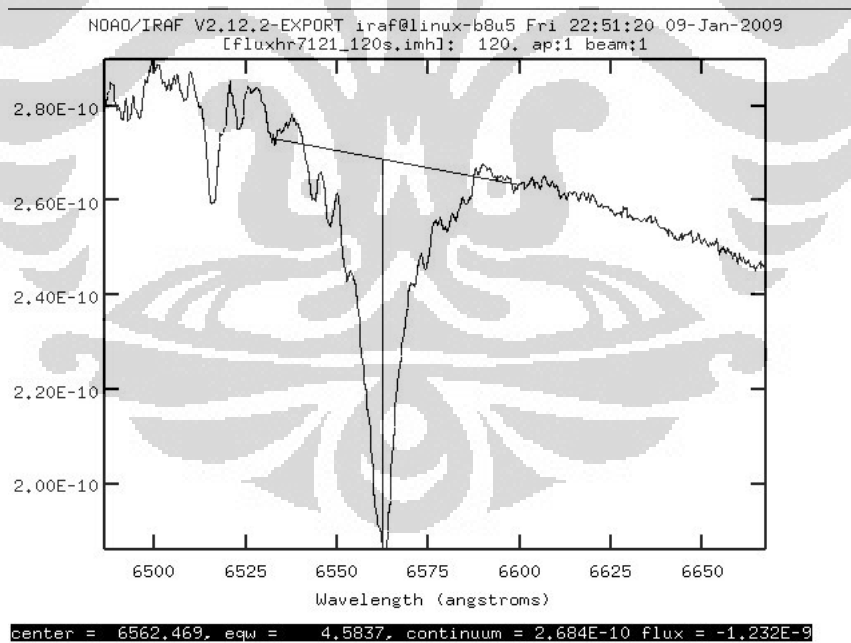
Gambar



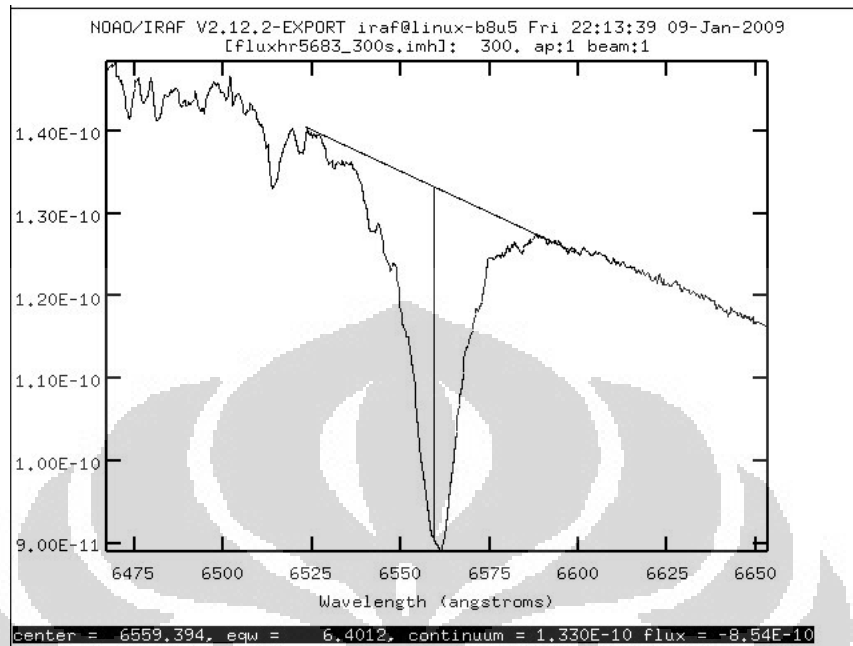
Spektrum bintang HR 5664



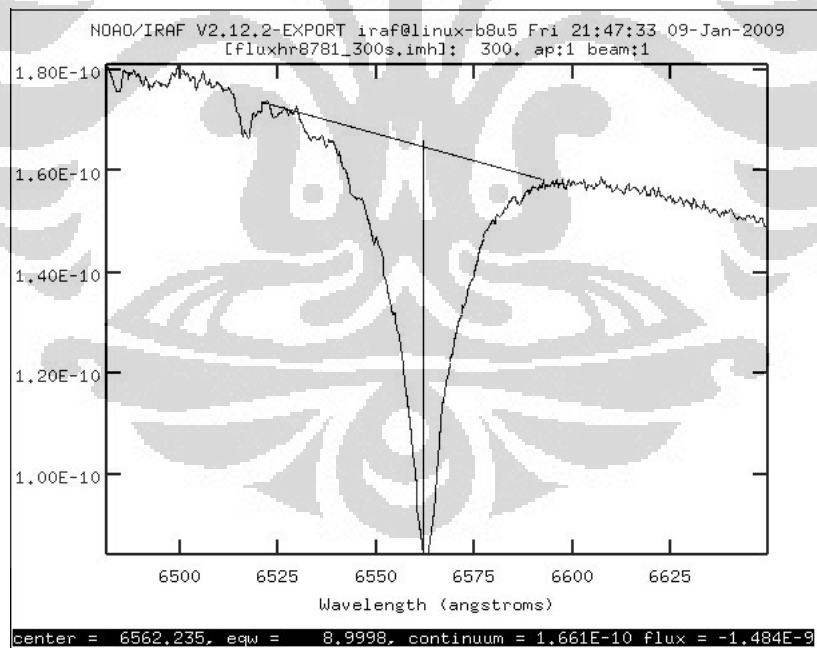
Spektrum bintang HR 6175



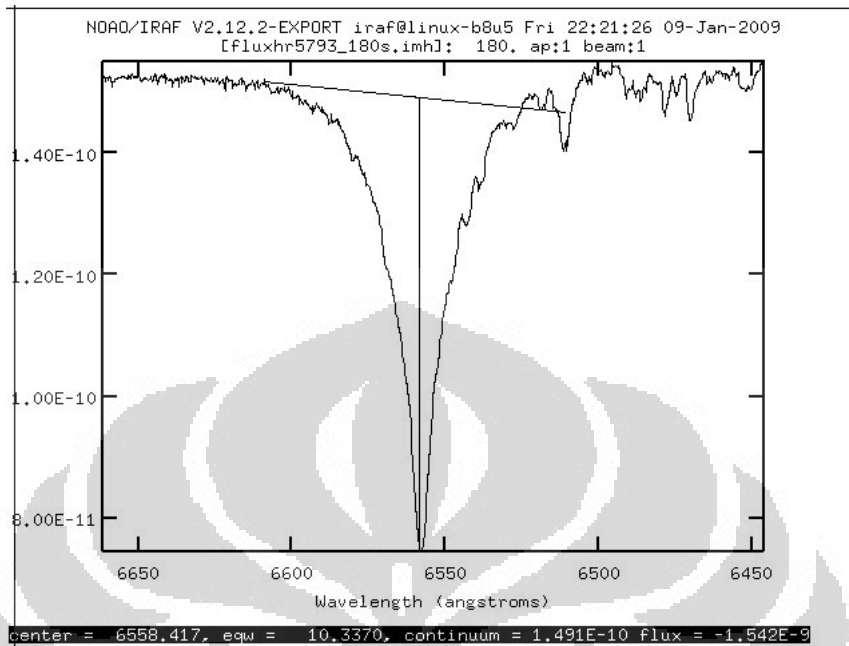
Spektrum bintang HR 7121



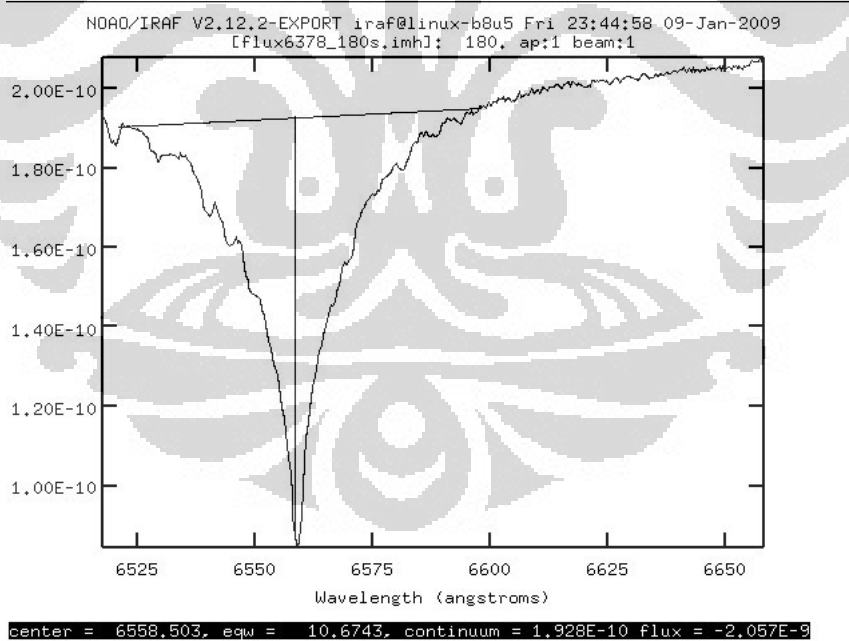
Spektrum bintang HR 5683



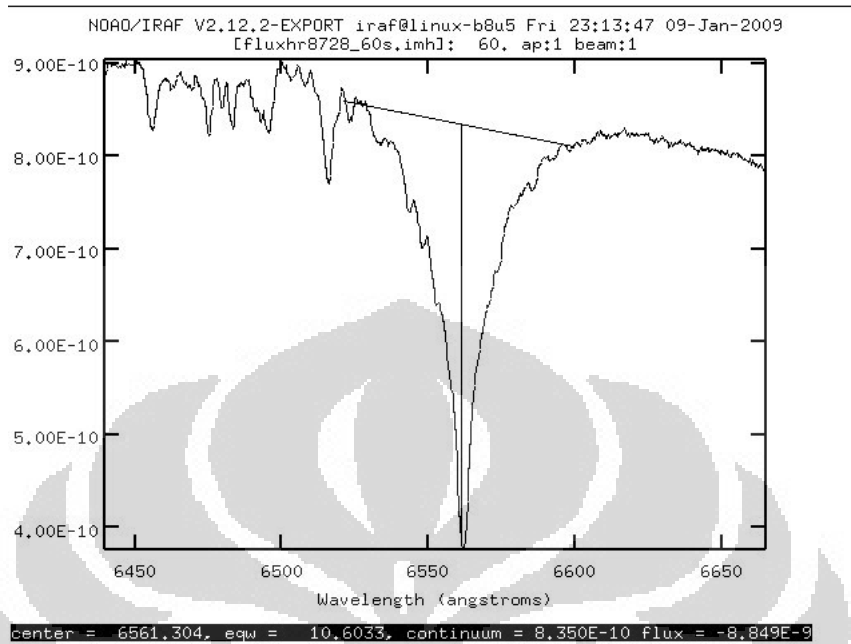
Spektrum bintang HR 8781



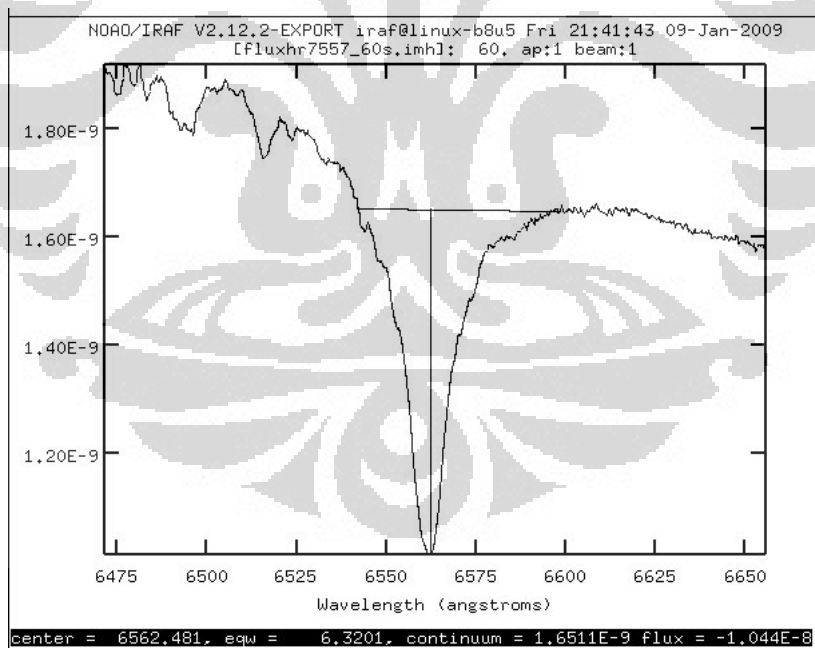
Spektrum bintang HR 5793



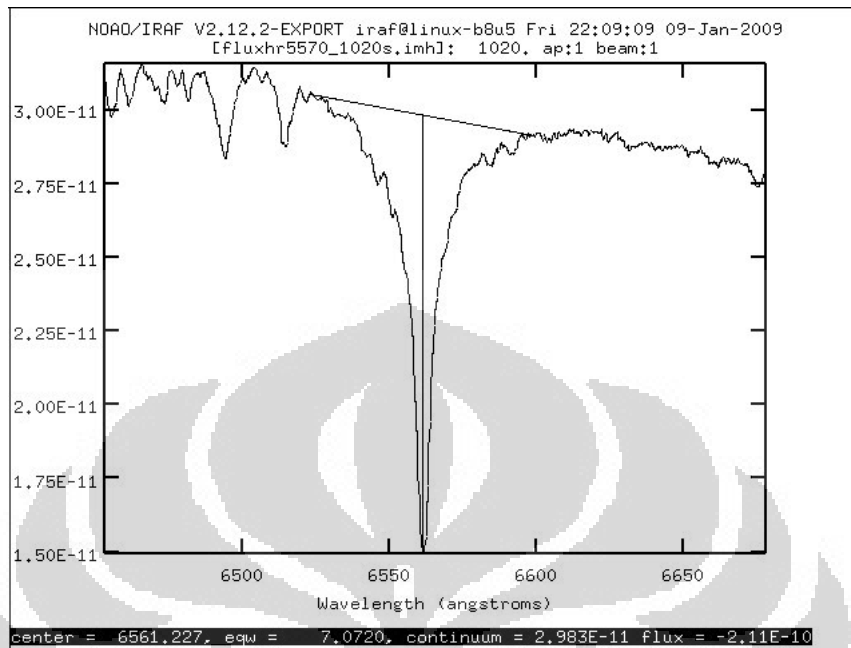
Spektrum bintang HR 6378



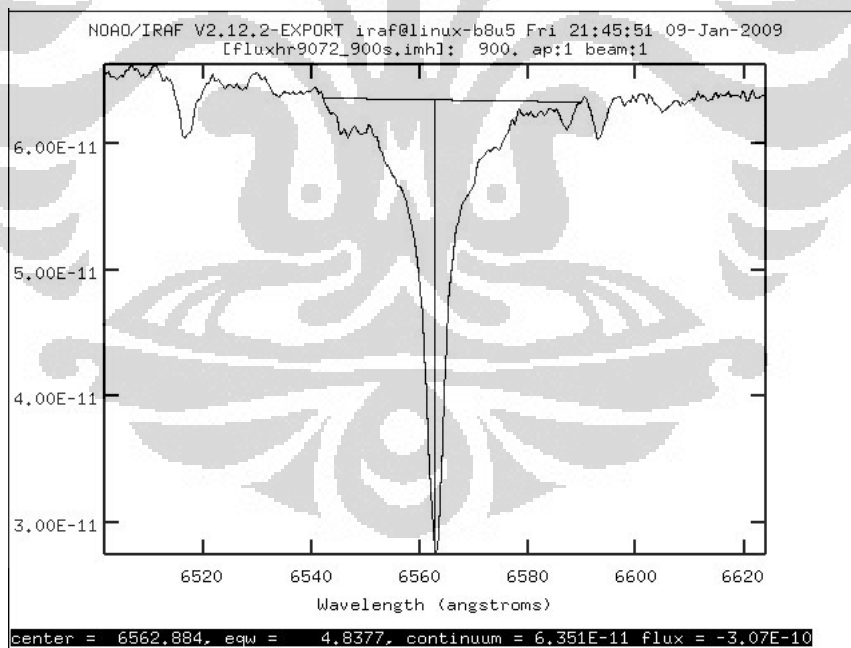
Spektrum bintang HR 8728



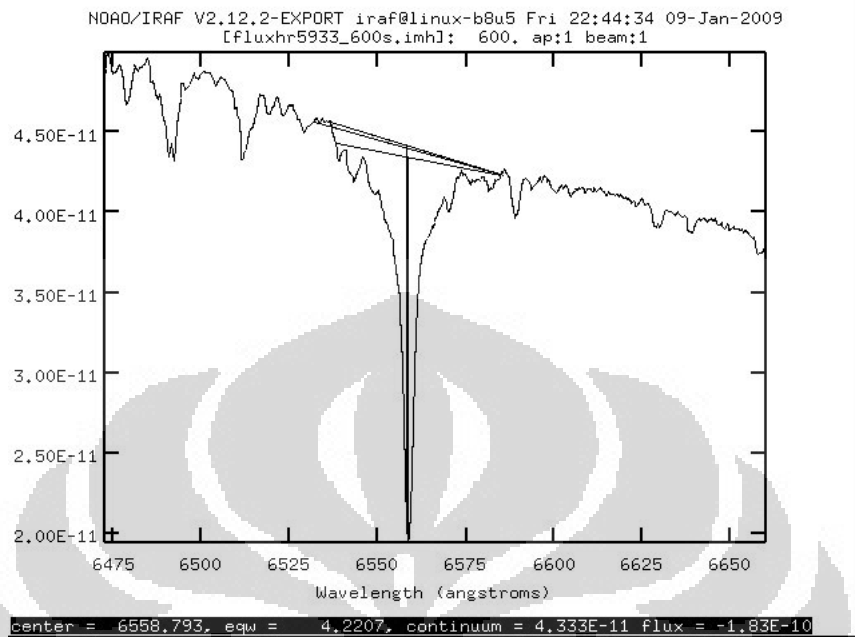
Spektrum bintang HR 8728



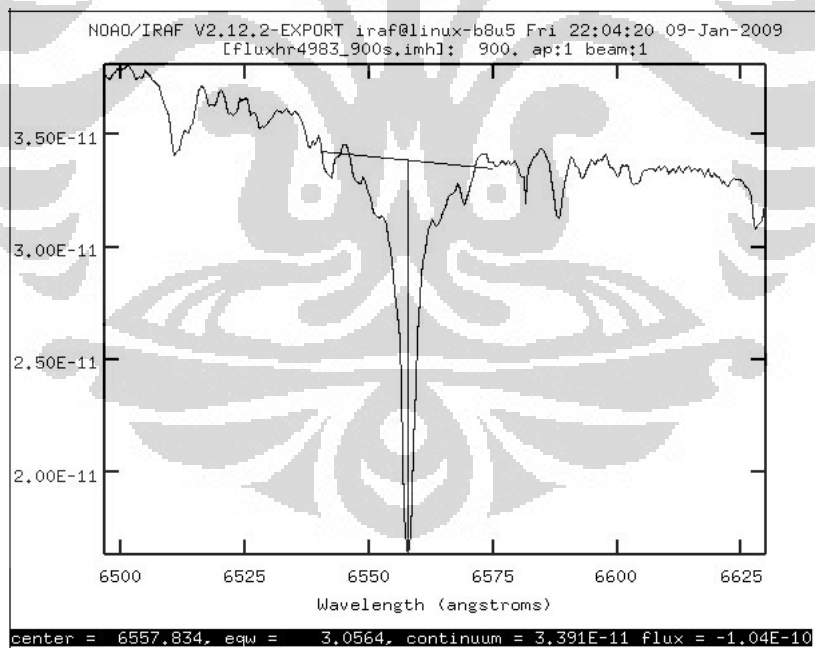
Spektrum bintang HR 5570



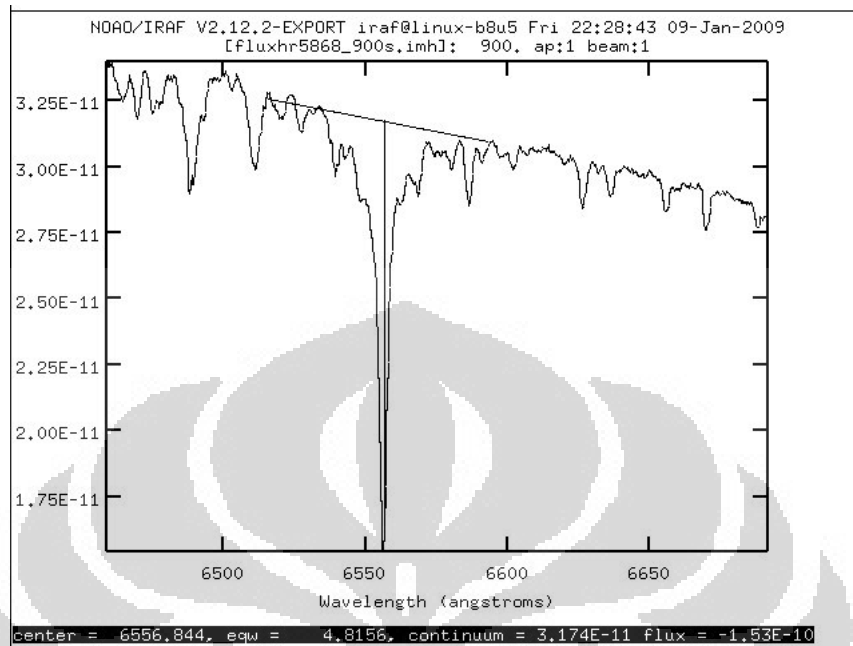
Spektrum bintang HR 9072



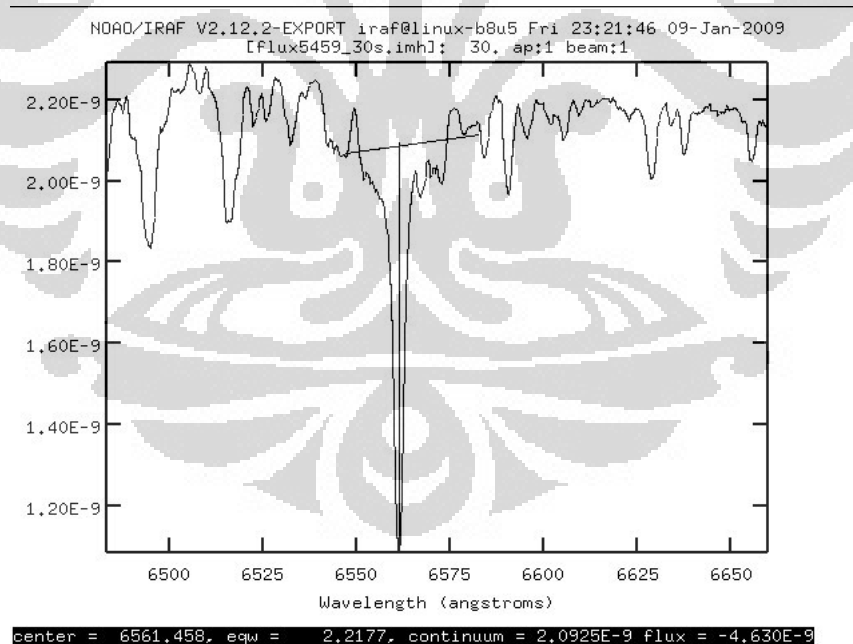
Spektrum bintang HR 5933



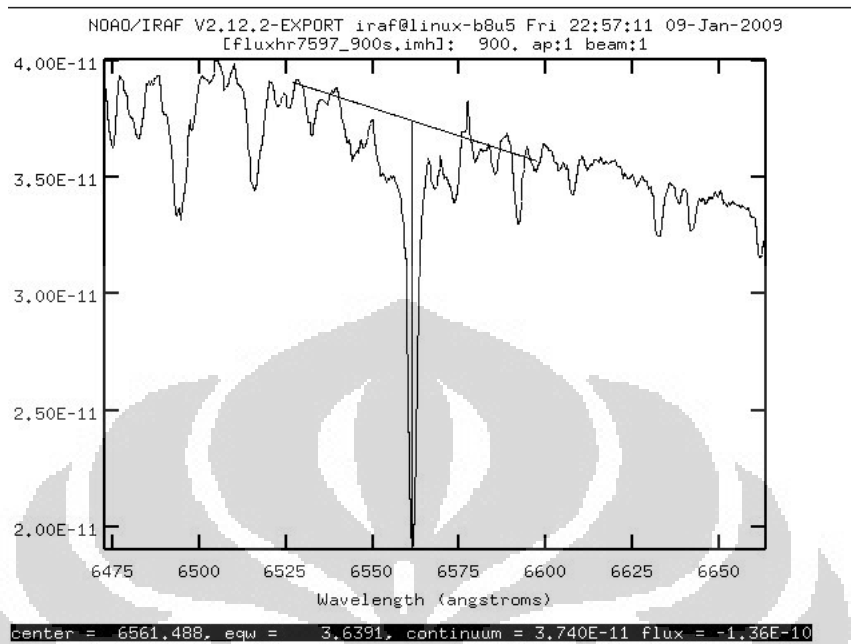
Spektrum bintang HR 4983



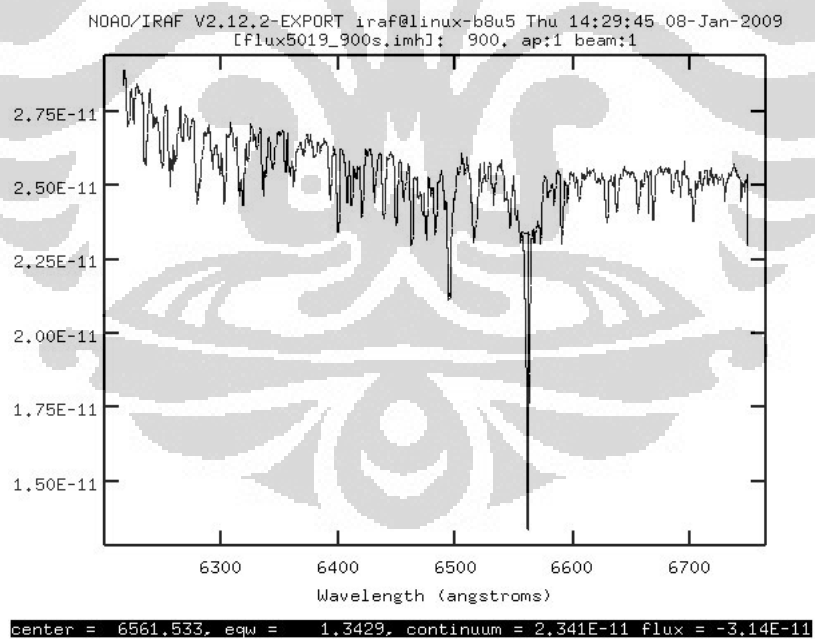
Spektrum bintang HR 5868



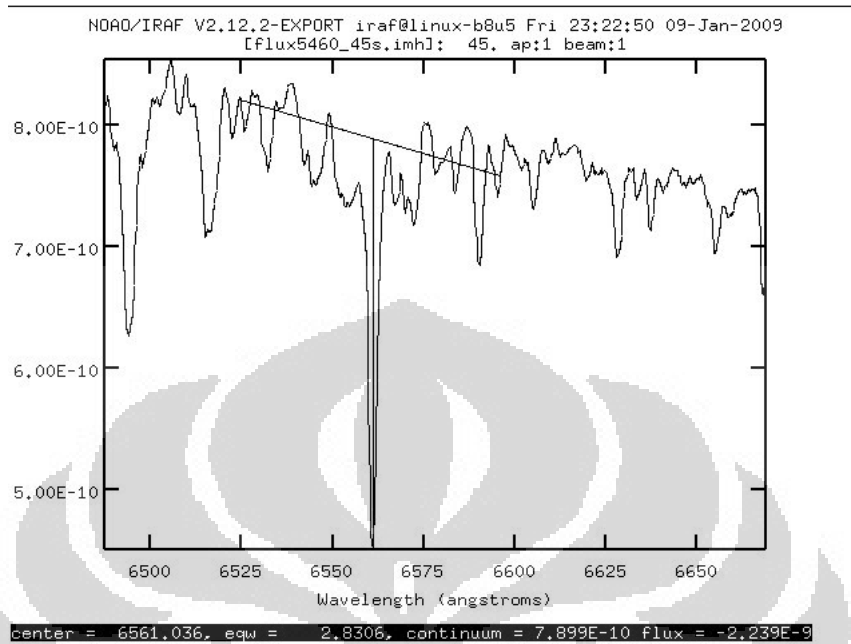
Spektrum bintang HR 5459



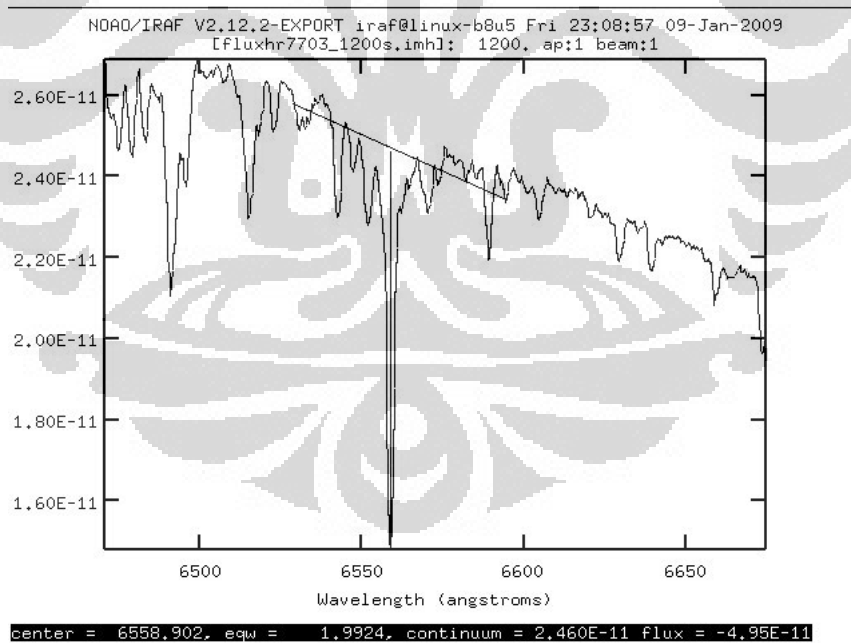
Spektrum bintang HR 7597



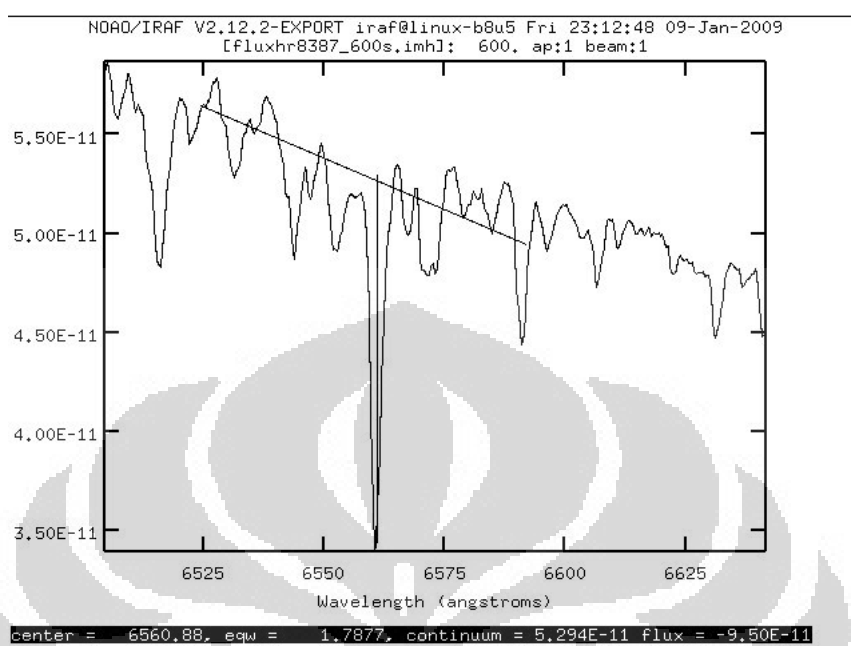
Spektrum bintang HR 5019



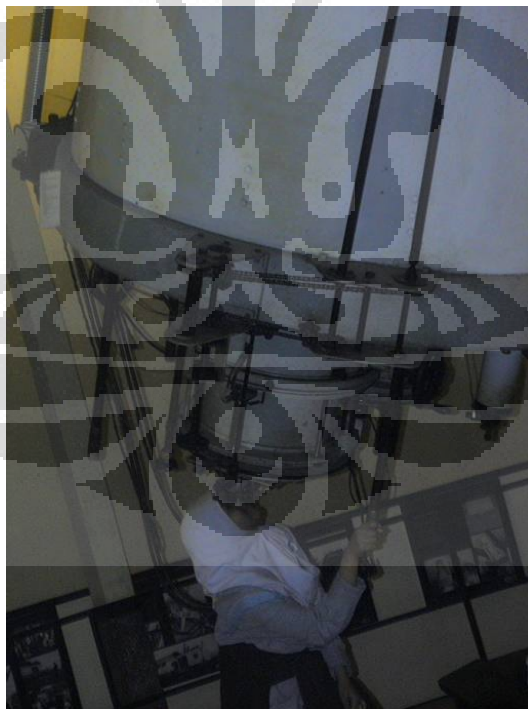
Spektrum bintang HR 5460



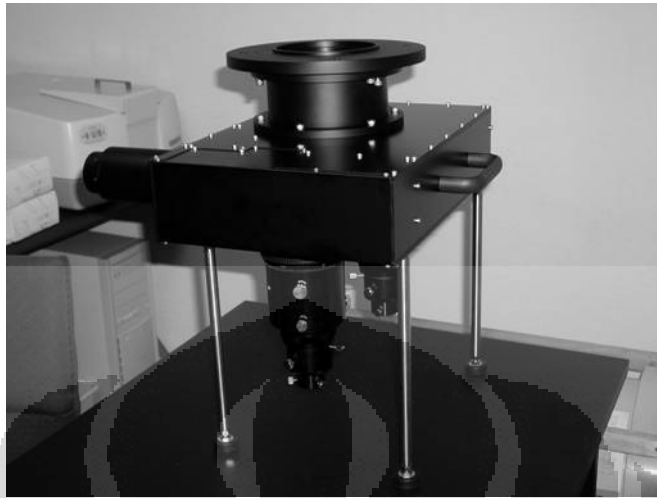
Spektrum bintang HR 7703



Spektrum bintang HR 8387



Teleskop Double Refractor Zeiss Observatorium Bosscha



Bosscha Compact Spectrograph



Charge Couple Device SBIG ST-8XE