

**PENGUKURAN TRANSMISI ATMOSFERIK BERDASARKAN
PENGAMATAN SPEKTROSKOPIK DI OBSERVATORIUM BOSSCHA
(ATMOSPHERIC TRANSMISSION MEASUREMENT BASED ON
BOSSCHA OBSERVATORY SPECTROSCOPIC DATA)**

**Evaria Puspitaningrum¹, Lucky Puspitarini², Hakim L. Malasan², M. Ikbal Arifyanto²,
Aprilia²**

¹ Pascasarjana Program Studi Astronomi, FMIPA Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung 40132 Indonesia

² Program Studi Astronomi dan Observatorium Bosscha, FMIPA Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung 40132 Indonesia
e-mail: evariap@students.itb.ac.id

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima:

16 November 2017

Direvisi:

12 Maret 2018

Disetujui:

28 September 2018

Diterbitkan:

19 Nopember 2018

Kata kunci:

Metode: observasi,
teknik: spektroskopi,
bintang: Be.

Pengamatan spektroskopis objek langit yang dilakukan di landas Bumi tidak hanya memberikan fitur-fitur intrinsik dari objek tersebut, tetapi juga fitur-fitur absorpsi akibat molekul-molekul di atmosfer Bumi. Fitur absorpsi tersebut disebut garis-garis telurik dan dapat diamati pada rentang panjang gelombang visual dan inframerah. Absorpsi atmosfer telurik biasanya dihilangkan dalam proses reduksi spektrum bintang. Salah satu metode reduksinya adalah menggunakan model transmisi atmosferik. Pengamatan spektroskopik resolusi rendah ($R \cong 300 - 1000$) dari ~40 bintang dengan menggunakan C8, NEO R-1000 dan kamera CCD ST-8XME aktif dilakukan di Observatorium Bosscha sejak tahun 2015. Spektrum yang didapatkan berada pada rentang panjang gelombang 4000 - 8000 Angstrom sehingga akan ditemukan pula garis-garis telurik. Pada pekerjaan ini, akan dilakukan *fitting* garis-garis telurik pada data pengamatan spektroskopi di Observatorium Bosscha dengan model transmisi atmosferik untuk mengetahui kuat serapan oleh molekul-molekul atmosfer, pada khususnya H₂O dan O₂. Hasil pengukuran kuat garis serapan ini merupakan indikator yang berguna untuk dinamika atmosfer terhadap waktu dan dapat menjadi masukan yang bermanfaat bagi penelitian sains atmosfer.

ABSTRACT

Keywords:

Method: observation,
technique: spectroscopy,
star: Be.

Stellar spectroscopy by using ground-based telescope will not only give intrinsic features of the celestial object, but also the absorption features due to Earth's atmosphere in particular H₂O and O₂ molecules. These features are called as telluric lines and can be found in visual and infrared region. In astronomy, these

telluric lines are usually removed in the spectroscopic reduction. However, they can be valuable information for atmospheric study. One of the way to study these lines is by fitting the data with a model of atmospheric transmission. Our data are low resolution spectra of stars ($R \cong 300 - 1000$, and spectral coverage $4000 - 8000 \text{ \AA}$) that were observed by using C8 reflector, NEO R-1000 spectrograph and ST-8XME CCD camera at Bosscha Observatory since 2015. In this work, we will measure the absorption strength of the telluric lines as a function of time.

1. PENDAHULUAN

Atmosfer Bumi merupakan faktor terbesar pada degradasi citra astronomi yang diambil dari teleskop landas bumi. Efek atmosfer pada pengamatan fotometri maupun spektroskopi sangat penting. Cahaya alami dari langit malam terdiri dari *airglow*, cahaya zodiak dan cahaya bintang. Selain itu, terdapat pula komponen cahaya buatan lain yang efeknya semakin besar pada langit malam jika lokasi pengamatan terletak dekat dengan daerah perkotaan. Partikel dan aerosol di atmosfer akibat cahaya alami dan buatan meningkatkan ekstingsi secara lokal maupun hamburan cahaya.

Terdapat gas alami seperti ozon, oksigen dan uap air yang ada di atmosfer Bumi, sehingga ketika cahaya yang berasal dari bintang melewatinya diserap maka akan muncul garis - garis serapan pada spektrum. Beberapa garis spektrum yang terbentuk akan muncul bersama dengan garis - garis yang terbentuk di atmosfer bintang. Garis - garis yang terbentuk akibat atmosfer Bumi disebut dengan garis telurik. Jika pada analisis spektrum bintang, garis telurik tidak diperhitungkan maka hasil yang didapatkan akan kurang tepat. Efek garis telurik pada spektroskopi akan memberikan kesalahan/*error* pada pengukuran panjang gelombang dan kuat garis jika garis telurik *blended* dengan fitur spektrum bintang yang ditinjau. Namun, walaupun garis telurik menjadi salah satu gangguan dalam penelitian astronomi, garis ini merupakan salah satu alat yang efektif untuk mengetahui komposisi atmosfer Bumi bagi sains atmosfer. Pada pekerjaan ini, dilakukan pengukuran kuat serapan garis telurik untuk mempelajari perubahannya terhadap waktu.

2. LANDASAN TEORI

Model yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah kombinasi garis - garis serapan akibat molekul air (H_2O) dan oksigen (O_2) di atmosfer Bumi. Untuk proses *fitting* garis telurik dilakukan dengan mengubah parameter pergeseran Doppler dan kuat serapan yang masing-masing diakibatkan gerak Bumi dan variasi massa udara. Jika T merupakan model transmisi atmosferik, maka T merupakan fungsi dari kedalaman optis τ dan panjang gelombang λ ,

$$T(\lambda) = e^{-\tau(\lambda)} \dots\dots\dots (2 - 1)$$

Jika $T_0(\lambda)$ adalah model transmisi telurik yang dihitung untuk referensi atmosfer standar, maka variasi massa udara adalah hasil dari koefisien α ,

$$T(\lambda) = e^{-\alpha \tau_0(\lambda)} = T_0(\lambda)^\alpha \dots\dots\dots (2 - 2)$$

Gerak Bumi diperhitungkan dengan menggeser transmisi sesuai dengan kerangka acuan yang diambil sehingga,

$$T = T_0(\lambda + \delta\lambda)^\alpha \dots\dots\dots (2 - 3)$$

dengan $\delta\lambda$ adalah nilai pergeseran. Sebelum melakukan *fitting* dan menentukan tebakan awal dari nilai - nilai parameter, korelasi antara model dengan data dilakukan untuk memperoleh tebakan nilai pergeseran Doppler dari data.

3. DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah spektrum bintang yang diamati

pada bulan Agustus – Desember 2015 menggunakan reflektor C8, spektrograf resolusi rendah NEO R-1000 dan kamera CCD ST-8XME di Observatorium Bosscha. Hasil pengamatan berada pada panjang gelombang $\sim 4000 \text{ \AA} - 8000 \text{ \AA}$. Pada rentang panjang gelombang tersebut, spektrum tidak hanya memberikan informasi tentang bintang target, namun juga fitur serapan yang diakibatkan atmosfer Bumi (garis telurik). Seluruh spektrogram yang didapatkan telah direduksi dengan menggunakan IRAF dari *National Optical Astronomical Observatories* (NOAO). IRAF dapat dilihat di <http://iraf.noao.edu/>.

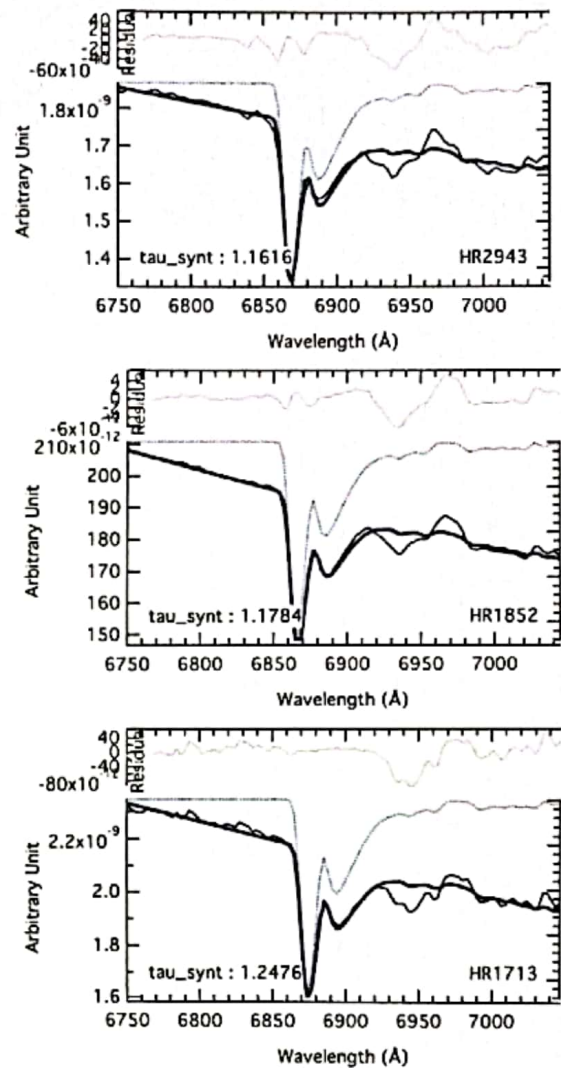
Pengukuran kuat serapan garis telurik dilakukan dengan *fitting* pada spektrum dengan menggunakan model sintetik telurik (*telluric synthetic model*) yang telah dihitung sebelumnya dengan menggunakan program *Line-By-Line Radiative Transfer Model* (LBLRTM) (Clough dkk., 2005) dan database *High-Resolution-TRANsmision molecular absorption* (HITRAN) *spectroscopic* (Rothman dkk., 2009). Model tersebut dapat juga diperoleh secara *online* pada layanan web *AtmosPhere for ASTromomical data* (TAPAS) *web-based service* (Bertaux dkk., 2013).

Kami mengembangkan *routine* yang merupakan *user-defined function* dengan menggunakan perangkat lunak IGOR Pro 6.2 untuk melakukan *fitting*. Algoritma Levenberg–Marquardt digunakan untuk menemukan parameter yang tepat untuk mendapatkan nilai χ^2 paling minimum dari parameter pergeseran Doppler dan kuat serapan pada proses *fitting*. Kontribusi profil instrumen yaitu spektrograf juga diantisipasi dengan konvolusi antara model telurik dengan fungsi instrumental. Metode *fitting* serupa sebelumnya dikembangkan Puspitarini dkk. (2014, 2015), namun digunakan untuk mengeliminasi kontaminasi garis telurik dalam pengukuran materi antar bintang.

4. PEMBAHASAN

Gambar 4-1 menunjukkan grafik – grafik hasil *fitting* untuk seluruh data spektrum yang telah diamati. Garis biru menunjukkan hasil *fitting*, garis hitam adalah spektrum pengamatan, garis putus – putus biru adalah garis telurik sintetik,

sedangkan residual antara *fitting* dan garis sintetik ditunjukkan oleh garis tipis hitam yang terletak di atas grafik hasil *fitting*. Pada tiap grafik terdapat keterangan objek dan nilai τ .



Gambar 4-1. Contoh grafik hasil *fitting* untuk data pengamatan HR2943, HR1852 dan HR1713.

Hasil pengukuran kuat serapan garis telurik pada spektrum bintang ditunjukkan pada Tabel 4-1. Kolom pertama adalah nama bintang pada katalog HR, kolom kedua menunjukkan tanggal pengamatan dalam *Julian Date* (JD), kolom ketiga adalah nilai τ yang didapatkan dari hasil *fitting*, kolom keempat menunjukkan massa udara yang dihitung dari jarak zenith ketika diamati. Beberapa objek diamati beberapa kali sehingga didapatkan nilai τ untuk waktu pengamatan yang berbeda pula.

Terdapat 6 data pengamatan yang tidak mendapatkan nilai τ . Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah *signal-to-ratio* (S/N) data

pengamatan yang rendah. Selain itu, faktor lain adalah tipe bintang yang diamati. Jika bintang yang diamati merupakan bintang ganda, maka diperlukan metode untuk dapat memperhitungkan pengaruh tersebut pada saat proses *fitting*. Gambar 4-2 menunjukkan grafik hubungan antara nilai τ terhadap waktu pengamatan dengan tipe bintang yang berbeda dengan keterangan seperti yang ditunjukkan pada legenda Gambar 4-2. Tiga data yang tidak didapatkan pada proses *fitting* merupakan data dengan objek bintang ganda.

Tabel 4-1. Hasil pengukuran nilai τ

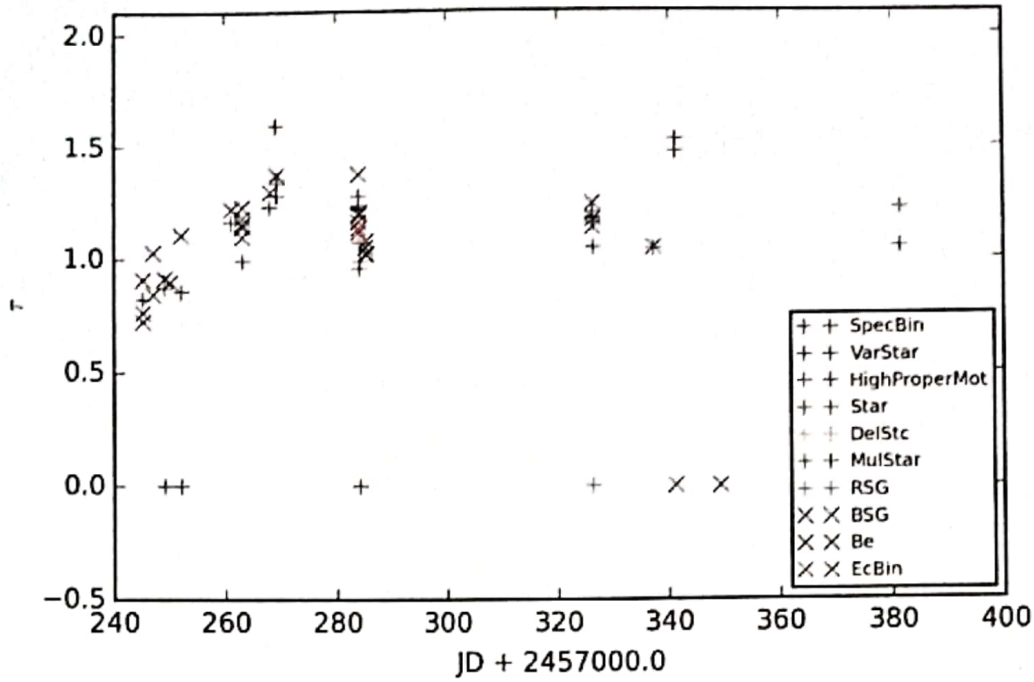
Nama	JD+ 2457000	τ	Massa Udara
HR1790	284.359	0.993	1.463
HR1852	284.071	1.200	1.501
HR1876	285.402	1.086	1.326
	341.208	1.473	1.845
HR1903	269.079	1.595	2.155
HR1934	263.097	1.187	1.371
HR2004	263.045	0.995	1.330
HR2061	263.105	1.160	1.364
HR2284	285.342	1.054	1.450
HR2309	381.383	1.223	1.296
HR2491	247.005	1.033	1.364
HR2690	269.193	1.285	1.809
HR2749	284.061	1.142	1.443
HR2854	326.269	1.178	1.117
HR2943	245.161	0.727	1.417
HR337	247.012	0.848	1.352
HR361	285.410	1.030	1.281
HR4932	285.350	1.056	1.392
HR4963	284.141	1.084	1.321
HR5907	341.198	1.526	1.600
	284.095	1.282	1.516
	284.087	1.169	1.560
	326.384	1.178	1.084
	326.347	1.162	1.117
	284.162	1.073	1.414
HR5953	284.099	1.221	1.537
	326.256	1.204	1.160
	269.221	1.357	1.594
	261.038	1.166	1.257
	263.060	1.146	1.484

	326.279	1.182	1.063
	326.302	1.140	1.022
	337.277	1.051	1.015
	284.036	1.378	1.915
HR6397	249.087	0.917	1.384
HR6422	249.013	0.875	1.066
HR6510	285.393	1.023	1.331
	268.074	1.300	1.346
	245.129	0.912	1.689
HR7081	269.221	1.338	1.594
	284.023	1.228	1.655
HR7106	252.024	0.858	1.108
	245.178	0.767	1.501
	261.049	1.225	1.351
	337.228	1.045	1.152
	252.043	1.109	1.189
HR7262	326.367	1.051	1.070
	263.073	1.102	1.278
HR7335	284.281	1.207	1.785
	268.035	1.233	1.350
HR7525	326.244	1.248	1.098
HR7553	245.106	0.826	1.415
HR7557	284.059	1.124	1.434
HR7596	284.153	0.963	1.452
	381.362	1.052	1.504
HR7763	284.026	1.240	1.695
HR7796	250.072	0.904	1.367
HR9072	269.196	1.377	1.793
HR9087	263.083	1.234	1.303

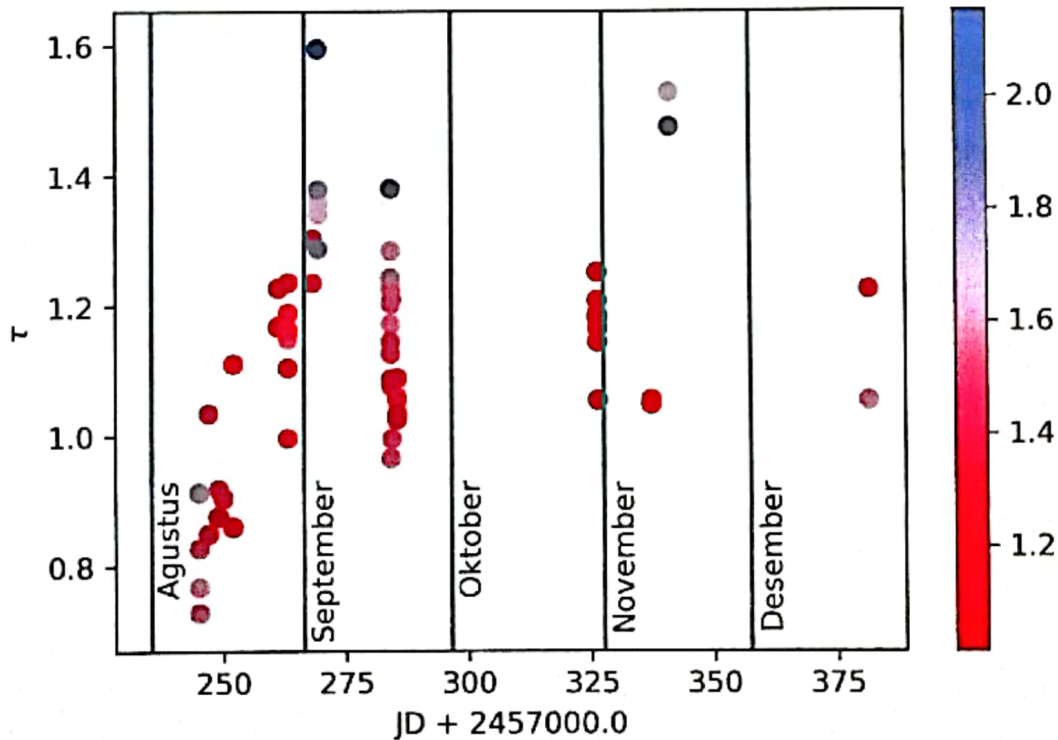
Untuk melihat pengaruh jarak zenith atau massa udara terhadap nilai τ , grafik hubungan antara nilai τ terhadap waktu pengamatan dan massa udara ditunjukkan oleh Gambar 4-3. Pada Gambar 4-3 terlihat bahwa semakin besar nilai massa udara maka nilai τ juga akan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan pada massa udara yang besar yaitu ketika jarak zenith semakin besar atau ketinggian bintang semakin rendah, jumlah partikel di atmosfer yang terakumulasi juga semakin besar. Sedangkan Gambar 4-4 menunjukkan grafik antara massa udara terhadap nilai τ (kiri) dan jarak zenith terhadap nilai τ (kanan). Kedua grafik di-*fitting* dengan fungsi linear dan 3σ clipping.

Keduanya menunjukkan adanya kecenderungan yang sama, yaitu semakin

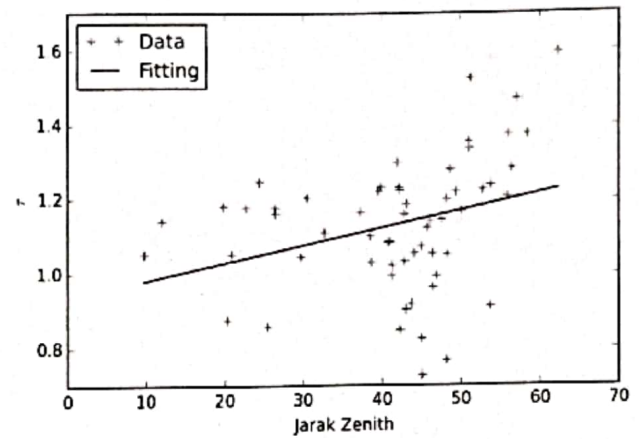
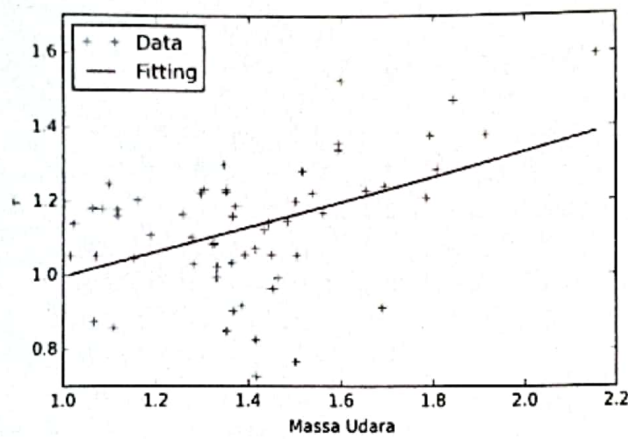
besar jarak zenith ataupun massa udara, semakin besar pula nilai τ yang terukur.



Gambar 4-2. Grafik hubungan antara nilai τ terhadap waktu pengamatan dalam JD. Tiap titik data ditampilkan sesuai dengan tipe bintang yang teramati.



Gambar 4-3. Grafik hubungan antara nilai τ terhadap waktu pengamatan dalam JD. Tiap titik data ditampilkan sesuai dengan massa udara ketika objek diamati. Data pengamatan diambil dari arsip data pengamatan bintang dari Agustus – Desember 2015.



Gambar 4-4. Grafik hubungan antara massa udara (kiri) dan jarak zenith (kanan) terhadap nilai τ . Tanda plus biru menunjukkan data pengamatan, sedangkan garis menunjukkan hasil fitting dengan menggunakan fungsi linier.

5. MANFAAT DALAM SAINS ATMOSFER

Metode *fitting* garis telurik ini merupakan metode yang efektif dan dapat dimanfaatkan untuk studi sains atmosfer untuk melihat variasi kuat serapan atmosfer terhadap waktu. Telaah uap air pada daerah 7150 – 7340 Å yang memiliki efek penting bagi dinamika cuaca di troposfer dan juga merupakan spesies penting dalam reaksi fotokimiawi menarik untuk dilakukan, mengingat dalam skala yang makro studi korelasi temperatur dan kandungan uap air di atmosfer penting dalam rangka mengidentifikasi potensi efek rumah kaca (Khlystov & Somov 2012). Oksigen 6883 transisi (0,1) dan 7621 Å transisi (0,0) diyakini disuplai dari formasi batuan sedimen. Telaah ini penting dalam menentukan temperatur di lapisan pembentukannya, yakni lapisan atmosfer atas sebagai hasil fotodisintegrasi uap air.

6. KESIMPULAN

Pengukuran transmisi garis telurik dengan metode fitting dilakukan untuk data pengamatan spektrum bintang – bintang di Observatorium Bosscha. Pengukuran tersebut memberikan nilai τ yang berbeda relatif terhadap waktu pengamatan. Massa udara memberikan pengaruh terhadap nilai τ , semakin besar massa udara maka nilai τ akan semakin besar. Selain itu, pada *preliminary work* ini, tidak tampak ada pengaruh musim pada kuat serapan atmosfer (τ). Namun demikian pengkajian lebih lanjut dan data yang

regular diperlukan untuk menjawab hal tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Imanul Jihad (Prodi Sains Komputasi, FMIPA, ITB) dan Robiatul Muztaba (Prodi Sains Atmosfer dan Keplanetan, ITERA) yang telah menyediakan data pengamatan spektrum bintang.

DAFTAR RUJUKAN

- Bertaux J. L., Lallement R., & Ferron S. [2013]. TAPAS, a web-based service of atmospheric transmission computation for astronomy. *Astronomy & Astrophysics* 564, A46 (2013). doi:10.1051/0004-6361/201322383.
- Clough S. A., Shephard M. W., & Mlawer E. J. [2005]. Atmospheric radiative transfer modeling: a summary of the AER codes. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 91 (2005) 233–244. doi:10.1016/j.jqsrt.2004.05.058.
- Puspitarini L., Lallement R., & Babusiaux C. [2015]. The Gaia-ESO Survey: Extracting diffuse interstellar bands from cool star spectra: DIB-based interstellar medium line-of-sight structures at the kpc scale. *Astronomy & Astrophysics* 575, A35 (2015). doi:10.1051/0004-6361/201424391.
- Puspitarini L., Lallement R., J.-L.Vergel. [2014]. Local ISM 3D distribution and

soft X-ray background: Inferences on nearby hot gas and the North Polar Spur. *Astronomy & Astrophysics* 566, A13 (2014). doi:10.1051/0004-6361/201322942.

Rothman L. S., Gordon I. E., & Barbe A. [2009]. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 110 (2009) 533–572. doi:10.1016/j.jqsrt.2009.02.013.

Khlystov A. I. & Somov B. V. [2012]. The Astrophysical Methods for Long-Term Monitoring of the CO₂ Content in the Earth Atmosphere. *International*

Journal of Ecosystem 2(2): 25-31 (2012). doi: 10.5923/j.ije.20120202.04.