

ANALISIS PROPAGASI GELOMBANG RADIO MODE ANGKASA SAAT PERISTIWA GERHANA MATAHARI 9 MARET 2016 (SKYWAVE PROPAGATION ANALYSIS DURING SOLAR ECLIPSE ON 9 MARCH 2016)

VaruliantorDear^{1*)} dan Rohmat Yulianto^{)}**

***) Pusat Sains Antariksa, LAPAN**

Jl. Dr. Djunjunan 133 Bandung

****) Balai Penjejakan dan Kendali Wahana Antariksa**

Jl. Angkasa Trikora, Biak Papua

¹ e-mail : varuliantor.dear@lapan.go.id

Diterima 06 Desember 2016; Direvisi 6 April 2017; Disetujui 19 Juli 2017

ABSTRACT

This paper discusses the analysis of radio wave propagation using Skywave mode during solar eclipse events on March 9, 2016. The analysis was based on the observation results using Automatic Link Establishment (ALE) waveform. The carrier frequency is 10.1455 MHz with Biak (1.16 N; 136.047E) and Manado (1.52N; 124.856E) as radio communication circuits. The working frequency was determined from the model of the ionosphere Biak-Manado circuit during a solar eclipse event and based on the frequency allocation for ALE system in Indonesia. The results showed that the SN index values were different between the day during solar eclipse event compared to the previous day and after. The differences of the SN index value were included the time variations and its distribution, which can be explained as the changes in the absorption levels of the ionosphere D layer. The change of the absorption levels during the solar eclipse event caused the SN index values had a constant tendency with the gradient value of linear equations was 0.0004/seconds. The constant changes of the absorption levels were also shown in the distribution of the SN index with a mean value (μ) was 5.2384 and standard deviation (σ) was 0.74894. Differences with the previous day and the day after the solar eclipse events, the SN index values had a descending trend with a gradient of the linear equations was -0.002/seconds. The differences also shown in the distribution of the SN index with μ values were 4.8316 and 4.6164 and σ were 0.92123 and 0.9096. These results indicated the change of radio wave propagation in the ionosphere during solar eclipse event in March 9, 2016.

Keywords: *skywave propagation, solar eclipse, absorption*

ABSTRAK

Makalah ini membahas tentang analisis propagasi gelombang radio mode angkasa saat terjadi peristiwa gerhana matahari pada 9 Maret 2016. Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *waveform* sistem *Automatic Link Establishment (ALE)*. Frekuensi yang digunakan adalah 10,145 MHz dengan Biak dan Manado sebagai sirkuit radio komunikasi yang digunakan. Nilai frekuensi kerja ditentukan dari hasil perhitungan model kondisi ionosfer untuk sirkuit komunikasi Biak (01,16 °LU; 136,047 °BT) dan Manado (1,52 °LU; 124,856 °BT) pada saat gerhana matahari berlangsung serta berdasarkan alokasi frekuensi sistem ALE di Indonesia. Hasil pengamatan yang diperoleh menunjukkan terdapat perbedaan nilai indeks SN antara saat kejadian gerhana matahari dengan hari sebelum dan sesudahnya di waktu yang sama. Perbedaan tersebut meliputi variasi nilai indeks SN terhadap waktu dan distribusinya yang dapat dijelaskan sebagai akibat perubahan tingkat absorpsi lapisan D ionosfer yang berbeda. Perubahan tingkat absorpsi pada lapisan D saat peristiwa gerhana matahari cenderung konstan, sehingga menyebabkan nilai indeks SN memiliki tren yang juga konstan dengan nilai gradien persamaan linear sebesar 0,0004/detik. Tingkat absorpsi yang konstan tersebut juga terlihat dari distribusi nilai indeks SN yang memiliki nilai mean (μ) sebesar 5,2384 dengan standar deviasi (σ) 0,74894. Sedangkan pada hari sebelum dan sesudahnya, yakni tanggal 8 dan 10 Maret 2018, nilai indeks SN memiliki tren menurun dengan nilai gradien persamaan linear sebesar -0,002/detik. Perbedaan tersebut juga terlihat dari distribusi indeks SN yang memiliki nilai μ sebesar 4,8316 dan 4,6164 dengan σ sebesar 0,92123 dan 0,9096. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada perambatan gelombang radio di lapisan ionosfer saat peristiwa gerhana matahari total 9 Maret 2016.

Kata Kunci: *propagasi angkasa, gerhana matahari, absorpsi*

1 PENDAHULUAN

Peristiwa gerhana matahari dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada lapisan ionosfer (Evans, 1965; Salah dkk., 1986; Jakowski dkk., 2008, Le dkk., 2010, Kumar dkk., 2013). Perubahan yang terjadi meliputi besaran densitas elektron serta ketinggian lapisan ionosfer akibat terhalangnya radiasi matahari oleh bulan. Pada lapisan D Ionosfer, terhalangnya radiasi matahari dapat direspon secara seketika sehingga densitas elektron mengalami penurunan bersamaan dengan waktu terjadinya gerhana matahari (Singh dkk., 2011; Kumar dkk., 2012).

Perubahan yang terjadi pada lapisan ionosfer sangat mempengaruhi perambatan gelombang radio yang menggunakan mode propagasi angkasa (*skywave*) (McNamara, 1991a). Pengaruh dari kondisi tersebut dapat terlihat dari parameter penerimaan sinyal pada

perangkat penerima. Sinyal yang diterima dapat mengalami perubahan pada besaran amplitudo maupun fasa seiring dengan perubahan fisis yang terjadi di lapisan ionosfer (Davies dkk., 1966). Kondisi serupa dapat juga terjadi pada saat peristiwa gerhana matahari sebagai akibat dari terhalangnya proses radiasi matahari di lapisan ionosfer oleh bayangan bulan.

Penelitian mengenai dampak gerhana matahari terhadap perambatan gelombang radio dengan mode propagasi angkasa masih menjadi hal yang sangat menarik. Hal ini disebabkan oleh langka dan uniknya peristiwa gerhana matahari serta masih digunakannya teknologi komunikasi yang memanfaatkan perambatan gelombang radio mode propagasi angkasa hingga saat ini (Bergada dkk., 2014). Penelitian tersebut dapat melengkapi pemahaman tentang mekanisme yang terjadi pada lapisan

ionosfer yang mempengaruhi perambatan gelombang radio. Di Indonesia penelitian ini belum pernah dilakukan sehingga penelitian tentang pengaruh gerhana matahari terhadap perambatan gelombang radio masih menjadi topik yang perlu untuk dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan analisis hasil observasi perambatan gelombang radio moda angkasa pada saat peristiwa gerhana matahari. Observasi difokuskan pada kualitas penerimaan sinyal dengan menganalisis perubahan yang terjadi pada saat gerhana matahari. Perbandingan hasil pengamatan saat terjadinya peristiwa gerhana matahari dengan waktu yang sama pada hari sebelum dan sesudahnya dilakukan untuk mendapatkan penjelasan tentang perubahan yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada perambatan gelombang radio di ionosfer akibat dari peristiwa gerhana matahari total pada 9 Maret 2016.

2 PROPAGASI GELOMBANG RADIO MODE ANGKASA DAN PERISTIWA GERHANA MATAHARI

Perambatan gelombang radio dengan mode angkasa merupakan mode propagasi yang memanfaatkan lapisan ionosfer sebagai media perambatan. Sifat dinamis dari lapisan ionosfer yang dipengaruhi oleh radiasi dari matahari dapat menyebabkan perubahan yang terjadi pada gelombang radio yang merambat pada lapisan ionosfer. Goldsmith (2005) dan Wagner dkk. (1989) mengemukakan bahwa perubahan yang terjadi terkait dengan aspek kualitas penerimaan sinyal. Perubahan tersebut dapat terlihat dari peningkatan atau penurunan perbandingan besaran sinyal terhadap *noise* yang dikenal sebagai *Signal to Noise Ratio* (SNR). SNR dapat mengalami perubahan seiring

dengan perubahan yang terjadi pada media lintasan gelombang radio.

Faktor utama terjadinya proses ionisasi pada lapisan ionosfer adalah radiasi matahari. Radiasi matahari menyebabkan terjadinya proses pembentukan lapisan ionosfer dari atom netral yang berada di atmosfer pada ketinggian yang berbeda-beda. Pada lapisan D ionosfer, proses ionisasi terjadi secara instan sebagai reaksi dari radiasi matahari (Mukhtarov dkk., 1995). Kondisi tersebut menyebabkan lapisan D dikenal hanya muncul pada siang hari dan juga sangat terpengaruh dengan fenomena X-Ray *flare* matahari. Pada malam hari lapisan D menghilang akibat tidak adanya radiasi matahari yang merupakan sumber utama terjadinya proses ionisasi. Pada propagasi gelombang radio mode angkasa dengan spektrum radio *High Frequency* (HF; 3 - 30 MHz) lapisan D bersifat menyerap energi gelombang radio (Brown, 1964). Oleh karena itu kehadiran lapisan D dapat dianggap sebagai sebuah kerugian bagi sistem komunikasi mode propagasi angkasa yang menyebabkan besaran nilai SNR mengalami penurunan.

Peristiwa gerhana matahari merupakan peristiwa yang terjadi akibat posisi bulan yang berada sejajar diantara bumi dan matahari. Peristiwa gerhana matahari tersebut menyebabkan suatu daerah di bumi mengalami penghalangan sinar matahari yang tertutup bayangan bulan. Pada lapisan D ionosfer, kondisi tersebut dapat menyebabkan proses ionisasi menjadi terhambat atau tertunda (Narcisi dkk., 1972). Terhambat atau tertundanya proses ionisasi pada lapisan D ionosfer dapat mempengaruhi besaran absorpsi energi gelombang radio pada mode propagasi angkasa. Sehingga untuk mendapatkan informasi tentang dampak peristiwa gerhana matahari yang mempengaruhi perambatan gelombang radio tersebut, maka dapat dilakukan

pengamatan dengan menggunakan metode yang mampu mengukur besaran penerimaan sinyal. Hasil penerimaan sinyal yang diperoleh dapat menjadi informasi yang dapat digunakan untuk menganalisa perubahan yang terjadi saat gerhana matahari.

3 METODE OBSERVASI

Metoda penentuan lokasi stasiun pemancar dan penerima untuk pengamatan propagasi gelombang radio dipilih berdasarkan hasil kajian oleh Jiyo dkk. (2016) yang disajikan pada Gambar 3-1. Hasil perhitungan lintasan gerhana matahari total pada ketinggian 300 km menunjukkan bahwa stasiun komunikasi radio yang berlokasi di Biak (01,16 °LU; 136,047 °BT) dan Manado (1,52 °LU; 124,856 °BT) dapat digunakan. Wilayah yang terdampak oleh gerhana matahari total berada diantara kedua lokasi tersebut pada pukul 00:26 UT hingga 01:34 UT pada 9 Maret 2016.

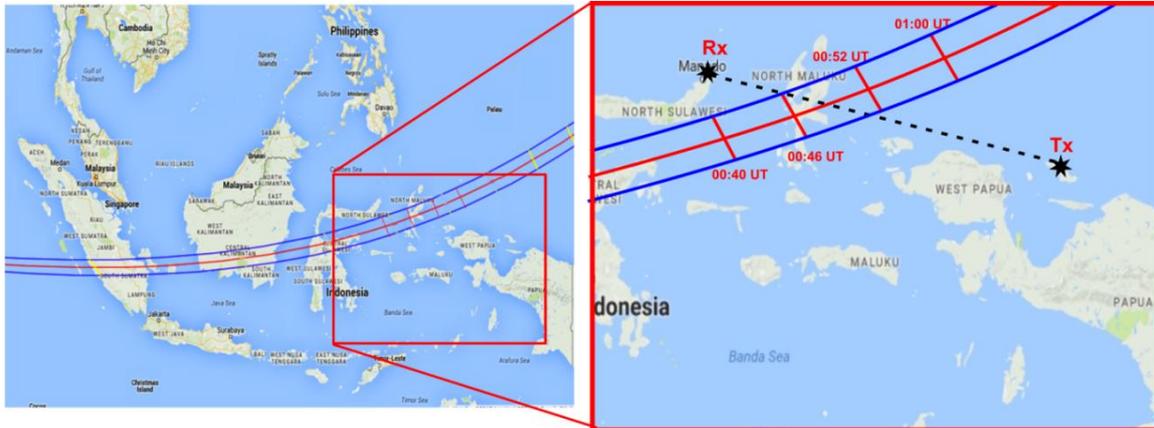
Dikarenakan lapisan ionosfer memiliki variasi temporal dan spasial, metode pemilihan frekuensi dilakukan berdasarkan nilai frekuensi kerja yang memiliki peluang tertinggi untuk dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer pada saat peristiwa gerhana matahari berlangsung. Nilai frekuensi kerja tersebut ditentukan berdasarkan perhitungan dari model ionosfer saat kondisi normal beserta aspek legalitas penggunaan frekuensi. Penentuan nilai frekuensi kerja dapat diperoleh dari penggunaan software prediksi frekuensi ASAPS (*Advanced Stand Alone Prediction System*) yang dikeluarkan oleh *Ionospheric Prediction service* (IPS) Australia untuk periode waktu saat terjadinya gerhana matahari. Sedangkan legalitas frekuensi yang dapat digunakan, harus merujuk pada nomenklatur alokasi frekuensi untuk komunitas radio amatir di wilayah Indonesia agar tidak mengganggu

pengguna frekuensi lainnya. Berdasarkan perhitungan menggunakan model ionosfer saat kondisi normal beserta tabel alokasi frekuensi untuk radio amatir di wilayah Indonesia, diperoleh nilai frekuensi 10,1455 MHz sebagai frekuensi tunggal yang dapat digunakan sesuai metode pengamatan yang dirancang (Gambar 3-2). Nilai frekuensi 10,1455 MHz merupakan alokasi frekuensi yang dapat digunakan dan sesuai dengan sistem yang dirancang serta memiliki peluang keberhasilan komunikasi yang tinggi untuk moda satu kali pantul menggunakan lapisan *F*. Frekuensi 10,1455 MHz dapat digunakan antara pukul 00:00 UT hingga 17:00 UT dan antara pukul 22:00 hingga 23:00 UT untuk sirkuit komunikasi Biak-Manado pada bulan Maret 2016. Pemilihan frekuensi yang merujuk pada moda satu kali pantul tersebut dimaksudkan agar analisis yang dilakukan hanya fokus pada propagasi gelombang radio di lapisan ionosfer yang merupakan tujuan dari penelitian ini. Redaman oleh permukaan bumi yang terjadi pada moda dua kali pantul dapat dihilangkan dalam analisis tersebut. Selain itu, peluang terjadinya perambatan gelombang radio dengan moda dua kali pantul bernilai lebih kecil dibandingkan dengan moda satu kali pantul berdasarkan besaran sudut elevasi antena yang digunakan dalam penelitian ini.

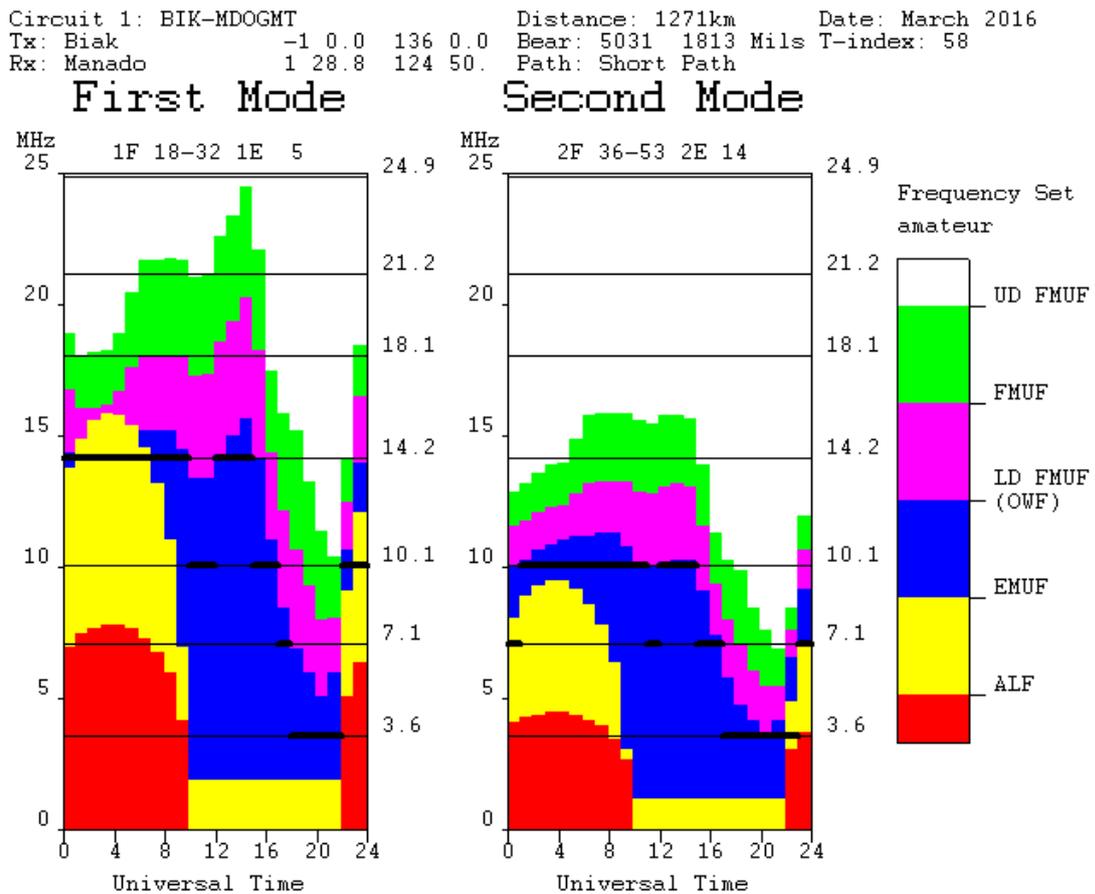
Transmisi sinyal berbasis sistem *Automatic Link Establishment* (ALE) digunakan sebagai sistem pengamatan propagasi gelombang radio yang dilakukan. Pengamatan dilakukan pada 8 Maret 2016 hingga 10 Maret 2016 yang mencakup pengamatan pada satu hari sebelum dan sesudah peristiwa gerhana matahari. Blok diagram perangkat pemancar dan penerima disajikan pada Gambar 3-3. Perangkat radio komunikasi ICOM tipe IC-718 beserta komputer yang

dilengkapi *software* MARS-ALE (*Military Auxiliary Radio System- Automatic Link Establishment*) digunakan pada stasiun pemancar maupun penerima. Untuk memperoleh resolusi data observasi yang tinggi, transmisi gelombang radio diatur

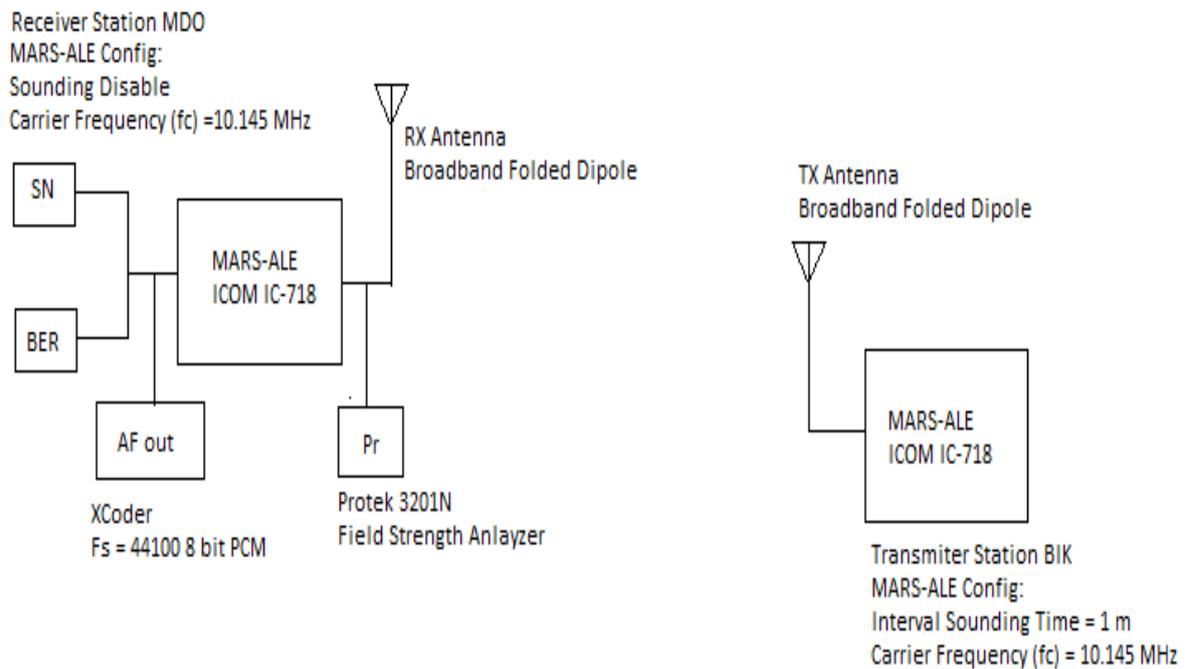
sebagai transmisi satu arah dengan Biak sebagai lokasi stasiun pemancar. Daya pancar yang digunakan sebesar 40 Watt dengan *gain* antena pemancar 2,15 dBi.



Gambar 3-1: Lintasan gerhana matahari total pada 9 Maret 2016 di ketinggian 300 km serta lokasi pemancar dan penerima yang digunakan dalam observasi



Gambar 3-2: Hasil perhitungan kondisi ionosfer untuk moda satu kali pantul (*First mode*) dan dua kali pantul (*Second Mode*) menggunakan ASAPS untuk sirkuit Biak-Manado pada saat Gerhana Matahari 9 Maret 2016

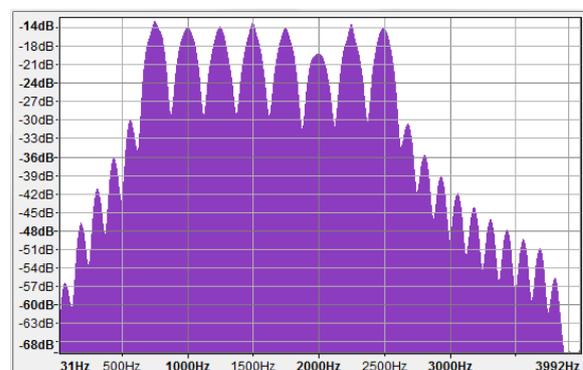


Gambar 3-3: Blok diagram sistem ALE yang digunakan dalam proses pengamatan

Sinyal yang dipancarkan berupa sinyal *Single Side Band-Upper Side Band* (SSB-USB) dengan informasi sinyal *baseband* berbentuk *waveform* ALE generasi ke dua (2G) (Gambar 3-4). *Waveform* ALE 2G dengan modulasi 8-CPFSK (*Continue Phase Frequency Shift Keying*) tersebut dipancarkan secara periodik dengan interval waktu *sounding* 1 menit setelah waktu awal transmisi sebelumnya. Durasi waktu untuk satu kali pengiriman sinyal mencapai 27,4 detik dengan jumlah bit *frame* informasi yang diulang (*redundancy*) dalam satu kali *sounding* sebanyak 5 kali. Pengaturan tersebut menyebabkan resolusi transmisi *sounding* sinyal menjadi 30 detik/*sounding*.

Stasiun penerima memperoleh data berupa *Link Quality Analysis* (LQA) yang merupakan data keluaran sistem ALE (Hess, 2000). Data tersebut berupa indeks nilai SN dan indeks BER dari setiap penerimaan sinyal yang berhasil diterjemahkan. Indeks nilai SN merepresentasikan nilai kualitatif perbandingan antara sinyal dengan derau (*noise*).

Sedangkan indeks BER merepresentasikan keberhasilan proses penguraian kode (*decoding*) dari sinyal *waveform* ALE yang diterima. Dalam penelitian ini, hasil observasi ditinjau berdasarkan perubahan yang terjadi pada nilai indeks SN dalam domain waktu sebagai representasi kualitas dari propagasi gelombang radio yang diterima akibat terjadinya perubahan pada media propagasi. Perubahan nilai indeks SN dalam domain waktu tersebut dianalisis dengan menggunakan proses *fitting* berdasarkan persamaan linear yang disajikan pada Persamaan (3-1).



Gambar 3-4: *Waveform* ALE-2G dalam domain frekuensi

$$y = mx + b \quad (3-1)$$

dengan nilai y adalah besaran indeks SN, x adalah waktu, m adalah gradien atau tingkat kemiringan dan b adalah konstanta nilai y yang memotong sumbu x . Nilai gradien yang diperoleh akan menjelaskan kecenderungan tren perubahan data secara kuantitatif.

Selain dianalisis dalam domain waktu, distribusi nilai indeks SN ($P_{sn}[SN]$) saat peristiwa gerhana matahari juga dihitung dengan menggunakan Persamaan (3-2)

$$P_{sn}[SN] = P[SN = sn] \quad (3-2)$$

dengan

$$sn = \frac{\sum n(SN = sn)}{nSN} \quad (3-3)$$

Hasil perhitungan dari Persamaan (3-2) dan (3-3) digunakan kembali untuk mendapatkan nilai kuantitatif parameter distribusi nilai indeks SN yakni berupa nilai *mean* (μ) dan standar deviasi (σ).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

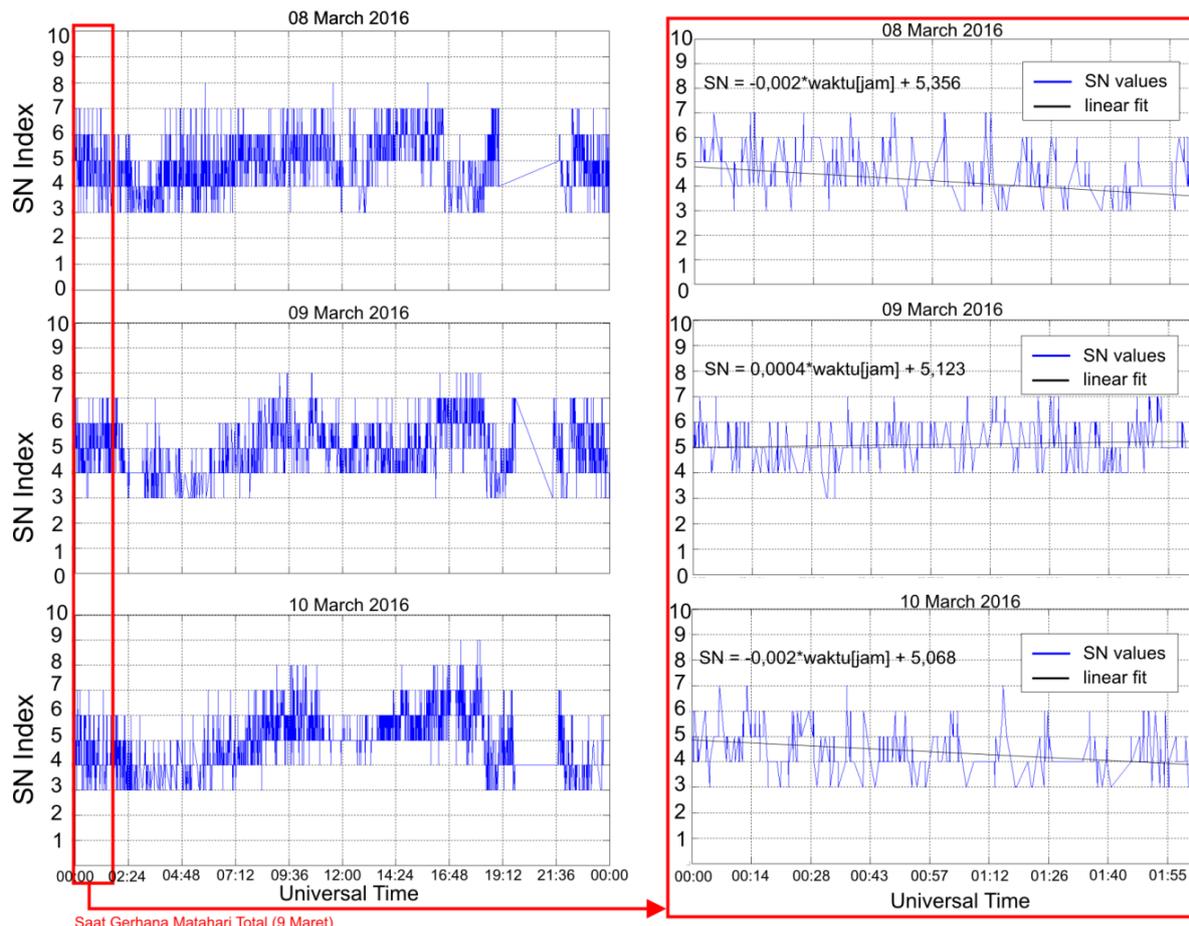
Pada Gambar 4-1 disajikan grafik variasi nilai indeks SN pada 8 hingga 10 Maret 2016 pada rentang waktu di saat terjadinya gerhana matahari. Sumbu vertikal merupakan nilai indeks SN yang berada pada rentang 0 hingga 10. Sedangkan sumbu horizontal merupakan waktu. Garis biru merepresentasikan data nilai indeks SN sedangkan garis hitam merupakan plot persamaan linear untuk proses *fitting* yang menunjukkan tren dari nilai indeks SN.

Gambar 4-1 menunjukkan bahwa nilai indeks SN dari hasil pengamatan pada tanggal 8 Maret 2016 memiliki tren menurun dengan besaran nilai gradien -0,002/detik. Tren dan variabel gradien persamaan linear nilai indeks SN yang bernilai negatif tersebut juga terjadi pada tanggal 10 Maret 2016 dan bernilai sama. Tren dan nilai gradien yang diperoleh pada 8 dan 10 Maret memiliki

hasil yang berbeda dengan data hasil pengamatan indeks SN pada saat terjadi gerhana matahari total, yakni pada 9 Maret 2016. Nilai gradien persamaan linear yang diperoleh bernilai positif, yakni 0,0004/detik dan memiliki tren yang cenderung konstan. Perbedaan tren dan nilai gradien hasil pengamatan indeks SN mengindikasikan terjadinya perbedaan kondisi dari media perambatan gelombang radio yang dilalui.

Perbedaan tersebut dapat merujuk pada perubahan tingkat absorpsi lapisan D ionosfer sebagai dampak dari terjadinya gerhana matahari total. Pada saat gerhana matahari total, proses ionisasi pada lapisan D ionosfer mengalami penundaan sementara sehingga tingkat absorpsi tidak mengalami peningkatan dan nilai indeks SN menjadi relatif konstan. Sedangkan pada saat tidak terjadi gerhana matahari total, proses ionisasi pada lapisan D ionosfer berjalan normal dan meningkat seiring perubahan sudut zenith posisi matahari yang mempengaruhi proses ionisasi (Reid, 1964).

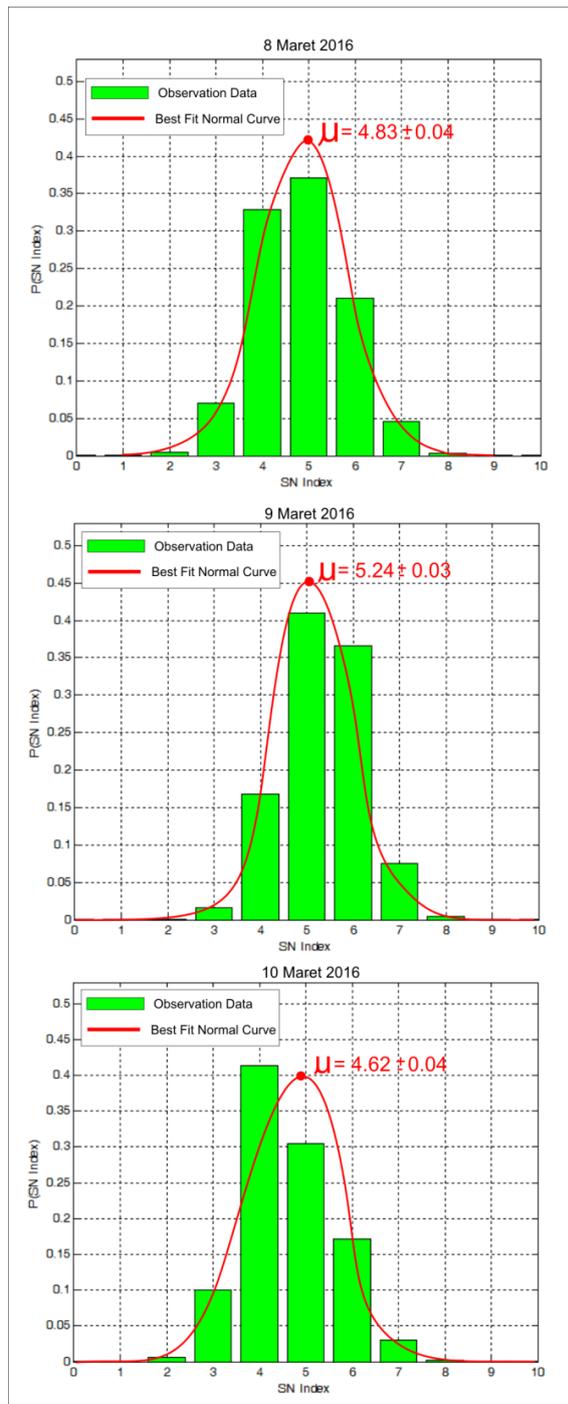
Untuk dapat melihat secara rinci perbedaan nilai indeks SN pada 8 hingga 10 Maret 2016, pada Gambar 4-2 disajikan distribusi nilai indeks SN dengan besaran nilai mean (μ) dan standar deviasi (σ) disajikan pada Tabel 4-1. Diagram batang berwarna hijau merupakan distribusi dari data nilai indeks SN yang diperoleh pada periode waktu saat terjadi gerhana matahari. Garis berwarna merah merupakan kurva *fitting* menggunakan perhitungan distribusi normal berdasarkan nilai μ dan σ dari perhitungan distribusi data nilai indeks SN. Perbandingan kurva distribusi normal dengan data yang diperoleh dimaksudkan untuk dapat melihat perubahan nilai parameter statistik antara saat kejadian gerhana matahari dengan saat tidak terjadinya gerhana matahari pada hari sebelum dan sesudahnya.



Gambar 4-1: Variasi dan distribusi nilai indeks SN pada 8 Maret 2016, 9 Maret 2016, dan 10 Maret 2016

Tabel 4-1: NILAI *MEAN* (μ) DAN *STANDARD DEVIASI* (σ) INDEKS SN

Tanggal	Mean (μ)	Standard deviasi (σ)
08 Maret 2016	4,8316	0,92123
09 Maret 2016	5,2384	0,74894
10 Maret 2016	4,6164	0,9096



Gambar 4-2: Distribusi nilai indeks SN saat peristiwa gerhana matahari pada tanggal 8 Maret 2016 hingga 10 Maret 2016

Pada Gambar 4-2 dan Tabel 4-1 terlihat perbedaan nilai parameter dari distribusi nilai Indeks SN antara hari disaat peristiwa gerhana matahari total dengan hari sebelum dan sesudahnya. Pada 9 Maret 2016 saat terjadi gerhana matahari total, nilai μ indeks SN mencapai

5,2364 dengan σ bernilai 0,7489. Nilai tersebut lebih besar dari nilai μ dan σ yang diperoleh pada 8 dan 10 Maret 2016 saat tidak terjadi gerhana matahari total di waktu yang sama. Nilai μ indeks SN pada hari sebelum gerhana matahari dan sesudah gerhana matahari sebesar 4,6164 dan 4,8316 dengan σ berada pada rentang 0,909 hingga 0,921. Nilai μ yang lebih besar dengan simpangan yang lebih kecil menunjukkan bahwa distribusi nilai indeks SN relatif konstan pada saat terjadi peristiwa gerhana matahari total. Sedangkan pada saat kondisi normal di waktu yang sama, distribusi nilai indeks SN mengalami perubahan dan menurun sehingga nilai μ yang teramati lebih kecil serta memiliki simpangan yang lebih besar.

Analisis perbedaan tren dan distribusi data pengamatan nilai indeks SN saat peristiwa gerhana matahari total dapat dikaitkan dengan perbedaan nilai rugi-rugi (*Loss*) dari perambatan gelombang radio yang terjadi. Hal ini dapat ditinjau berdasarkan perhitungan nilai indeks SN yang dinyatakan sebagai sebuah perbandingan antara kuat sinyal yang diinginkan (*S*) terhadap kuat sinyal derau atau *noise* (*N*). Besaran nilai *noise* dapat dinyatakan bernilai konstan (ITU, 2015) karena sesuai dengan durasi peristiwa gerhana matahari yang berlangsung singkat. Sedangkan untuk nilai *S* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4-1).

$$S = P_r = P_{tx} - \text{Loss} \quad (4-1)$$

Nilai *S* ekuivalen dengan nilai P_r yang merupakan besaran daya yang diterima oleh antenna penerima. P_{tx} merupakan besaran daya pancar, dan *Loss* merupakan rugi-rugi energi gelombang radio yang terjadi pada lintasan. Nilai P_{tx} bernilai konstan karena telah diatur dengan

sebuah nilai tetap pada peralatan yang digunakan. Sedangkan nilai *Loss* dapat bervariasi terhadap waktu yang bergantung pada kondisi lintasan gelombang radio yang dilalui. Dengan metode observasi yang digunakan dalam penelitian ini, maka terjadinya perubahan pada nilai *Loss* dapat dinyatakan sebagai dampak dari perubahan pada lapisan ionosfer yang merupakan media perambatan gelombang radio yang dilalui. Hal ini juga merujuk pada hasil yang diperoleh oleh Ma dkk. (2013) yang menyatakan bahwa ionosfer merupakan sebuah kanal *time variant channel*.

Persamaan (4-1) menunjukkan bahwa perubahan yang terjadi pada nilai *Loss* akan menyebabkan perubahan pada nilai *S*. Perubahan besaran nilai *Loss* yang terjadi tersebut dapat dihitung dengan Persamaan (4-2).

$$\Delta Loss = Loss_o - Loss_t \quad (4-2)$$

dengan $\Delta Loss$ sebagai besarnya perubahan nilai *Loss*, $Loss_o$ merupakan nilai *Loss* awal dan $Loss_t$ merupakan nilai *Loss* pada waktu berikutnya. Besaran nilai $\Delta Loss$ akan menentukan perubahan yang terjadi pada nilai *S*. Apabila $\Delta Loss$ bernilai positif maka nilai *S* akan mengalami penurunan dari nilai sebelumnya. Sedangkan apabila $\Delta Loss$ bernilai negatif, maka nilai *S* akan mengalami peningkatan. Untuk $\Delta Loss$ yang bernilai 0, nilai *S* akan memiliki besaran yang sama dengan nilai sebelumnya.

Dikarenakan perubahan nilai *Loss* dominan sebagai representasi dari perubahan kondisi media perambatan gelombang radio yang dilalui, maka perubahan nilai *Loss* sangat terkait dengan perubahan yang terjadi pada lapisan D ionosfer. Sifat lapisan D ionosfer yang mampu menyerap energi

gelombang radio merupakan kandidat utama dari terjadinya perubahan nilai *Loss* (Hargreaves dkk., 2010). Jika tingkat absorpsi lapisan D ionosfer meningkat, maka nilai $\Delta Loss$ bernilai positif sehingga nilai *S* mengalami penurunan. Namun, jika absorpsi lapisan D ionosfer cenderung konstan, maka $\Delta Loss$ akan bernilai 0 sehingga nilai *S* akan bernilai konstan. Perubahan pada nilai *S* tersebut juga akan terlihat dari hasil pengukuran nilai indeks SN. Berdasarkan data yang diperoleh terlihat bahwa pada 8 dan 10 Maret 2016 nilai indeks SN mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *Loss*. Sedangkan pada 9 Maret 2016, nilai indeks SN relatif konstan yang menunjukkan bahwa *Loss* yang terjadi juga bernilai konstan.

Analisis nilai indeks SN yang bernilai konstan akibat nilai *Loss* yang konstan disaat terjadinya peristiwa gerhana matahari pada 9 Maret 2016 memiliki kesesuaian dengan hasil penelitian perubahan tingkat absorpsi yang telah dilakukan oleh Lurfald dkk. (1965). Besaran tingkat absorpsi tersebut berkorelasi dengan terjadinya *Losses* dari perambatan gelombang radio yang menggunakan mode propagasi angkasa (*skywave propagation*). Besaran nilai *Loss* untuk perambatan gelombang radio moda angkasa dinyatakan dengan Persamaan (4-3) (McNamara, 1991b).

$$L = L_a + L_b + L_g + L_p + L_q \quad (4-3)$$

dengan L_a merupakan *absorption loss*, L_b merupakan *free space loss*, L_g merupakan *Multihop ground reflection loss*, L_p merupakan *Polarization coupling loss*, dan L_q merupakan *Sporadic E Obscuration loss*. Besaran nilai L_a direpresentasikan sebagai besaran absorpsi pada lapisan D

ionosfer yang dapat dihitung dengan Persamaan (4-4) (Lerfald dkk. ,1965).

$$A(\omega_c) = \int_0^\infty k(\omega_c, h) N(h) dh \quad (4-4)$$

dengan $A(\omega_c)$ merupakan besaran absorpsi, $k(\omega_c, h)$ merupakan tingkat absorpsi pada lapisan ionosfer sebagai fungsi ketinggian h dan nilai *angular* frekuensi ω_c . Sedangkan $N(h)$ merupakan besaran kerapatan elektron sebagai fungsi ketinggian.

Lerfald dkk. (1965) menyatakan bahwa perubahan kerapatan elektron pada saat peristiwa gerhana matahari dipengaruhi oleh 3 proses, yakni (i) produksi elektron, (ii) pembentukan ion negatif, dan (iii) proses rekombinasi. Ketiga proses tersebut dinyatakan dalam Persamaan (4-5).

$$\frac{dN}{dt} = \frac{q}{(1 + \lambda)} - \alpha N^2 - \frac{N}{(1 + \lambda)} \frac{d\lambda}{dt} \quad (4-5)$$

dengan q merupakan laju produksi, α merupakan laju tingkat rekombinasi, N adalah densitas elektron dan λ merupakan perbandingan antara ion negatif dengan elektron. Komponen q dan λ dipengaruhi oleh parameter ekspos matahari (F) yang merepresentasikan kondisi sinar matahari relatif terhadap ionosfer saat gerhana matahari terjadi. Pengaruh ekspos matahari terhadap nilai q dan λ dinyatakan dengan Persamaan (4-6) dan (4-7).

$$q = Fq_o + q_c \quad (4-6)$$

$$\lambda = \frac{\alpha n^2}{F\rho_o + \kappa n} \quad (4-7)$$

dengan q_o adalah komponen pembentukan elektron yang dipengaruhi oleh fungsi ekspos matahari (F), dan q_c adalah komponen pembentukan elektron yang

tidak dipengaruhi oleh fungsi F . Saat gerhana matahari total terjadi, nilai F adalah 0. Sedangkan saat tidak terjadi gerhana matahari nilai F adalah 1. Parameter ρ_o merupakan koefisien *photodetachment* yang dipengaruhi oleh F . Sedangkan κ adalah koefisien tumbukan, dan n adalah kerapatan dari molekul netral. Berdasarkan Persamaan (4-6) dan (4-7) yang menentukan Persamaan (4-5) terlihat cukup jelas bahwa kerapatan elektron saat peristiwa gerhana matahari total akan cenderung bernilai konstan karena proses laju produksi ionisasi hanya bersumber dari q_c . Kendatipun parameter λ juga dipengaruhi oleh F , namun menurut Nicolet dkk. (1960) nilai λ tersebut dapat diabaikan karena memiliki nilai yang sangat kecil. Pada lapisan D, nilai kerapatan elektron yang cenderung konstan tersebut akan menyebabkan tingkat absorpsi juga cenderung konstan. Absorpsi yang konstan akan menyebabkan besaran L_a pada Persamaan (4-3) bernilai konstan, sehingga nilai S juga bernilai konstan. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan saat peristiwa gerhana matahari total yang menunjukkan bahwa trend nilai indeks SN cenderung konstan dan dengan nilai μ yang lebih besar serta σ yang lebih kecil. Sedangkan saat kondisi normal, yakni pada hari sebelum dan sesudahnya tren nilai indeks SN cenderung menurun dengan nilai μ yang lebih kecil dan dengan nilai σ yang lebih besar.

5 KESIMPULAN

Peristiwa gerhana matahari total pada 9 Maret 2016 menyebabkan terjadinya perubahan pada perambatan gelombang radio di lapisan ionosfer. Analisis hasil pengamatan menunjukkan terjadinya perbedaan tren dan distribusi nilai indeks SN antara saat peristiwa

gerhana matahari pada 9 Maret 2016 dengan hari sebelum dan sesudahnya di waktu yang sama. Nilai indeks SN pada saat peristiwa gerhana matahari memiliki tren yang konstan dengan koefisien gradien persamaan linear bernilai 0,0004/detik. Sedangkan pada hari sebelum dan sesudahnya, nilai indeks SN memiliki tren yang menurun dengan koefisien gradien persamaan linear bernilai -0,002/detik. Perbedaan tersebut juga terlihat dari distribusi nilai indeks SN pada saat peristiwa gerhana matahari dengan nilai *mean* (μ) sebesar 5,2384 dan standar deviasi (σ) 0,74894. Nilai μ tersebut lebih besar dari hari sebelum dan sesudahnya yang bernilai 4,8316 dan 4,6164 dengan nilai σ 0,92123 dan 0,9096. Perbedaan tren dan distribusi tersebut dapat dijelaskan sebagai dampak dari perubahan besaran absorpsi pada lapisan D ionosfer yang mempengaruhi perambatan gelombang radio saat peristiwa gerhana matahari. Pada saat peristiwa gerhana matahari total, tingkat absorpsi lapisan D cenderung konstan sehingga nilai indeks SN juga cenderung bernilai konstan. Sedangkan pada hari sebelum dan sesudahnya, tingkat absorpsi lapisan D ionosfer meningkat secara normal karena perubahan sudut zenith matahari, sehingga nilai indeks SN mengalami penurunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Rezy Pradipta dari *Institute for Scientific Research-Boston College* dan Bapak Asnawi yang memberikan arahan dan masukan dalam penulisan yang dilakukan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kapussainsa yang memberikan dukungan dalam melaksanakan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Bergadà, P., R. M. Alsina-Pagès, J. L. Pijoan, M. Salvador, J.R. Regue, D. Badia, S. Graells, 2014. *Digital Transmission Techniques for a Long Haul HF link: DSSS versus OFDM*. Radio Science, 2014.
- Brown R. R., 1964. *Day-night Ratio of Auroral Absorption for Breakup Events*, Journal of Geophysical Research, 69, 7, 1429, DOI: 10.1029/JZ069i007p01429.
- Kenneth, D., and D. M. Baker, 1966. *On Frequency Variations of Ionospherically Propagated HF Radio Signals*. Radio Science, Vol. 1, No. 5, 545-556., DOI: 10.1002/rds196615545.
- Evans, J. V., 1965. *An F Region Eclipse*. J. Geophys. Res., 70, 131-142, DOI: 10.1029/JZ070i001p00131.
- Goldsmith A., 2005. *Wireless Communications. Chapter 3 : Statistical Multipath Channel Models*. Cambridge University Press 2005. 64-98, ISBN : 978-0-521-83716-3.
- Hargreaves, J., K., M., J. Birch, , and D. Evans, 2010. *On the Fine Structure of Medium Energy Electron Fluxes in the Auroral Zone and Related Effects in the Ionospheric D-region*. Ann. Geophys., 28, 1107-1120, 2010, DOI:10.5194/angeo-28-1107-2010.
- Hess A.,M., 2000. *Advanced use of LQA Data in Improving the Quality and the Speed of ALE Link Establishment While Reducing Sounding Requirements in HF Networks*. HF Radio Systems and Techniques, Eighth International Conference on (IEE Conf. Publ. No. 474), Guildford, 91-94. DOI: 10.1049/cp: 20000155.
- ITU, 2015. *RECOMMENDATION ITU-R P.372-8 "Radio noise"*. diakses https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r-rec/p/R-REC-P.372-8-200304-S1!!PDF-E.pdf (tanggal mengakses website.ini).
- Jakowski, N., S. M., Stankov, V., Wilken, C., Borries, D., Atadill, J., Chum, D., Buresova, J., Boska, P., Sauli, F.,

- Hruska, and L. R., Cander, 2008. *Ionospheric Behaviour Over Europe During the Solar Eclipse of 3 October 2005*, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 70 (2008-04), 836–853.
- Jiyo, dan G., A., Admiranto, 2016. *Penentuan Zona Totalitas Gerhana Matahari Total 9 Maret 2016 pada Ketinggian Lapisan Ionosfer*. Prosiding Workshop Cuaca Antariksa dan Peluang Pemanfaatannya-III^o Pusat Sains Antariksa, ISSN: 2355-388X.
- Kumar, S., and A. K., Singh, 2012. *Changes in Total Electron Content (TEC) During the Annular Solar Eclipse of 15 January 2010*, Adv. Space. Res., 49, 75–82.
- Kumar, S, A.,K., Singh, dan R.,P., Singh 2013. *Ionospheric Response to Total Solar Eclipse of 22 July 2009 in Different Indian Regions*. Ann. Geophys., 31, 1549–1558, 2013. DOI:10.5194/angeo-31-1549-2013.
- Le, H., L., Liu, F., Ding, Z., Ren, Y., Chen, W., Wan, B., Ning, G., Xu, M., Wang, G., Li, B., Xiong, and L., Hu, 2010. *Observations and Modeling of the Ionospheric Behaviors Over the East Asia Zone During the 22 July 2009 Solar Eclipse*. J. Geophys. Res., 115, A10313, DOI:10.1029/2010JA015609, 2010.
- Lerfald M. G., K. J., Hargreaves and M. J., Watts, 1965. *D-Region a Absorption at 10 and 15 Mc/s During Total Solar Eclipse of July 20, 1963*. Radio SCIENCE Journal of Research NBS/USNC-URSI, Vol. 69D, No. 7, 939–946.
- Ma B., L., Guo dan H., Su, 2013. *Statistical Characteristics of the Multipath Time Delay and Doppler Shift of a Radar Wave Propagating Through the Ionosphere*. Progress In Electromagnetics Research, Vol. 138, 479–497, ISSN: 1070-4698, E-ISSN: 1559-8985.
- McNamara, L.,F., 1991a. *The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding, Chapter 4. HF Radio Propagation*. Krieger Publishing Company. hal. 39-50. ISBN 0-89464-040-2.
- McNamara, L.,F., 1991b. *The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding, Chapter 6. Prediction for HF Communications*. Krieger Publishing Company. hal. 75-92. ISBN 0-89464-040-2.
- Mukhtarov P., D., Pancheva 1995. *Model of the Electron Density Height Profile in the Lowest D-Region (50 to 75 km)*. Advances in Space Research, 15, 2, 179. ISSN 0273-1177, DOI: 10.1016/50273-1177 (99) 80045-3.
- Narcisi, R.S., A.D., Bailey, L.E., Wlodyka, dan C.R., Philbrick, 1972. *Ion Composition Measurements in the Lower Ionosphere During the November 1966 and March 1970 Solar Eclipses*. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics Volume 34, Issue 4, 647-658, DOI: 10.1016/0021-9169(72) 90152-3.
- Nicolet, M., dan A. C., Aikin, 1960. *The Formation of the D Region of the Ionosphere*, J. Geophys. Res. 65, 1469, DOI: 10.1029/JZ065005p01469.
- Reid, G. C., 1964. *Physical Processes in the D Region of the Ionosphere*, Rev. Geophys., 2(2), 311–333, doi: 10.1029/RG002i002p00311.
- Salah, J. E., W. L., Oliver, J. C., Foster, dan J. M., Holt, 1986. *Observations of the May 30, 1984, Annular Solar Eclipse at Millstone Hill*, J. Geophys. Res., 91, 1651–1660, DOI: 10.1029/JA091iA02 p01651.
- Singh, R., B. Veenadhari, A. K. Maurya, M. B. Cohen, S. Kumar, R. Selvakumaran, P. Pant, A. K. Singh, and U. S. Inan 2011. *D-region Ionosphere Response to the Total Solar Eclipse of 22 July 2009 Deduced from ELF-VLF Tweek Observations in the Indian Sector*, J. Geophys. Res., 116, A10301, doi:10.1029/2011JA016641.

Wagner, L. S., J. A., Goldstein, W. D., Meyers dan P. A., Bello, 1989. *The HF Skywave Channel: Measured Scattering Functions for Midlatitude and Auroral Channels and Estimates for Short-term Wideband HF Rake Modem Performance*. Military

Communications Conference, MILCOM '89. Conference Record. Bridging the Gap. Interoperability, Survivability, Security., 1989 IEEE, Boston, MA, 1989, 830-839 vol. 3. DOI: 10.1109/MILCOM.1989.104038.