

Analisis Harmonik foF2 di Atas Sumedang

Buldan Muslim, Asnawi dan Sael Pane

*Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN
Jl. Dr. Junjunan 133 Bandung 40173
Email: buldanms@yahoo.com*

Abstrak

Analisis harmonik telah dilakukan terhadap data frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) di atas Sumedang dari hasil pengamatan ionosfer menggunakan ionosonde vertikal. Analisis menunjukkan bahwa rata-rata bulanan dari rata-rata harian dan empat komponen harmonik yang pertama bervariasi terhadap aktivitas matahari dan memperlihatkan adanya variasi tahunan, tengah tahunan dan adanya asimetri ekuinok. Analisis harmonik juga diterapkan untuk nilai rata-rata bulanan dari rata-rata harian dan empat komponen tersebut terhadap fungsi bulan. Model nilai rata-rata bulanan dan komponen harmonik tersebut kemudian diestimasi secara linier dalam hubungannya dengan tingkat aktivitas matahari tahunan. Dengan analisis korelasi antara koefisien fungsi harmonik yang diperoleh terhadap indek aktivitas matahari maka dapat diketahui sejauh mana analisis harmonik dapat digunakan untuk pemodelan ionosfer di atas Sumedang, interpolasi dan ekstrapolasi data foF2 di atas Sumedang.

Kata kunci: Ionosfer, analisis harmonik, foF2, aktivitas matahari.

1. Pendahuluan

Prediksi frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (foF2) sangat diperlukan untuk penentuan frekuensi kerja komunikasi HF. Parameter tersebut memiliki variasi diurnal dan bulanan dan tergantung pada fase siklus aktivitas matahari. Model matematika yang sesuai dapat menggambarkan variasi-variasi tersebut.

Parameter foF2 memiliki kemiripan pola variasi dengan *total electron content* (TEC). Variasi harian dari TEC dapat direpresentasikan dengan fungsi kosinus. Poulter dan Hargreaves (1981) menggunakan pendekatan analisis Fourier dalam memodelkan data TEC untuk daerah lintang menengah (Lancaster 54° N, 3° W). Liu et al. (1992) menggunakan formula model empiris yang didasarkan pada analisa harmonik Fourier dalam menghitung IEC (*ionospheric electron content*) di Xing Xing (35.3° N, 113.9° E). Baruah et al. (1993) mengembangkan model IEC dengan menggunakan fungsi harmonik orde tiga dari data pengamatan IEC pada kondisi umum aktivitas matahari di Lunping. Baru-baru ini, model yang lain untuk IEC di Lunping (25° N, $121,2^{\circ}$ E) telah dikembangkan oleh Jain et al. (1996). Klobuchar (1975) telah menyusun algoritma waktu tunda ionosfer global orde pertama. *International Reference Ionosphere* (IRI) (Lincoln dan Conkright, 1981) menghasilkan nilai kandungan elektron yang akurat, hanya untuk daerah lintang menengah dan tinggi (MCNamara, 1983), sedangkan untuk daerah lintang rendah, hasil dari model IRI tersebut cenderung dibawah pengamatan (*underestimate*) untuk kondisi siang hari.

Unnikrisnan dkk. (2002) telah mengembangkan model empiris TEC untuk semua kondisi aktivitas matahari menggunakan data tahun 1980 – 1990 dari stasiun di daerah lintang rendah belahan bumi utara, Palehua (19° N, 206° E), menggunakan koefisien harmonik orde empat. Sekumpulan 81 koefisien ke nol dan empat orde pertama fungsi harmonik telah cukup untuk pemodelan TEC.

Pada makalah ini diuraikan hasil analisis harmonik orde 4 terhadap data foF2 dari hasil pengamatan ionosonde vertikal Sumedang yang terletak di lintang rendah belahan bumi selatan, dan lebih dekat ke ekuator geografi dari pada posisi Palehua. Dengan analisis harmonik seperti telah dilakukan untuk TEC lintang rendah di belahan bumi utara di atas Palehua, perbedaan dan persamaan hasil analisis harmonik ionosfer antara dua tempat yang berbeda tersebut dapat diketahui.

2. Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam studi ini merupakan data foF2 hasil pengamatan ionosonde vertikal di atas Sumedang di SPD Tanjungsari, LAPAN, mulai tahun 1997 sampai dengan 2003.

Karena nilai tiap jam dalam satu hari untuk data foF2 memiliki variasi yang periodik sebagaimana variasi TEC, maka data tersebut dapat direpresentasikan dengan fungsi periodik tunggal $F(t)$. Dengan menggunakan fungsi harmonik orde empat untuk data tiap jam foF2 dalam satu hari, rata-rata harian A_0 , amplitudo (A_1, A_2, A_3 dan A_4) dan fase (P_1, P_2, P_3 dan P_4) akan diperoleh dari persamaan berikut ini.

$$F(t) = A_0 + \sum_{n=1}^4 a_n \cos\left(2\pi \frac{n}{T} t\right) + \sum_{n=1}^4 b_n \sin\left(2\pi \frac{n}{T} t\right) \quad (1)$$

$$F(t) = A_0 + \sum_{n=1}^4 A_n \cos\left(2\pi \frac{n}{T} t - P_n\right) \quad (2)$$

di mana T adalah periode dasar yaitu 24 jam, t adalah waktu lokal ($t = 0, 1, 2, 3, \dots, 23$), P_n adalah sudut fase, dan n adalah bilangan harmonik ($n = 1, 2, 3, 4$). Untuk $n = 1$ adalah komponen harmonik dengan periode $24/1 = 24$ jam (variasi diurnal), $n = 2$ merupakan komponen harmonik dengan periode $24/2 = 12$ jam (variasi semidiurnal), $n = 3$ adalah untuk variasi 8 jam (variasi terdiurnal) dan untuk $n = 4$ adalah komponen harmonik dengan periode 6 jam (variasi quardiurnal).

Persamaan (1) dapat diselesaikan untuk koefisien harmonik A_0 , a_n dan b_n sehingga amplitudo dan fase fungsi harmonik dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$A_n = [a_n^2 + b_n^2]^{1/2} \quad (3)$$

$$P_n = \arctan(b_n / a_n) \quad (4)$$

Analisis harmonik tersebut dilakukan untuk data tiap jam foF2 dalam satu hari. Kemudian koefisien harmonik harian yang diperoleh dirata-ratakan tiap bulannya.

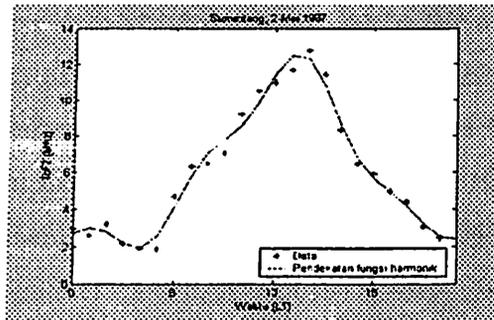
Koefisien harmonik bulanan yang diperoleh dapat dimodelkan sebagai fungsi nomor bulan (1-12) menggunakan fungsi harmonik orde 4 dan fungsi indek aktivitas matahari tahunan yang dapat diwakili oleh indek rata-rata tahunan bilangan sunspot menggunakan fungsi linier. Model koefisien harmonik bulanan tersebut dapat digunakan untuk interpolasi maupun ekstrapolasi data untuk bulan dan tahun yang tidak ada pengamatan. Sedangkan analisis harmonik harian dapat digunakan untuk interpolasi data pada jam-jam yang kosong asalkan data kosong tidak terlalu banyak.

3. Hasil dan Pembahasan

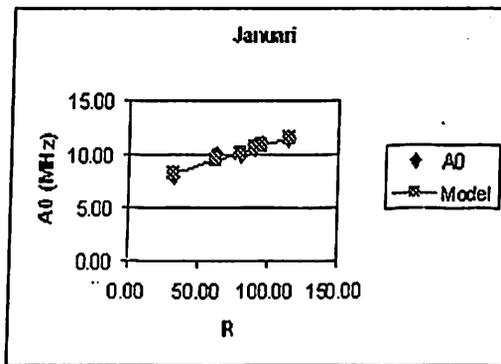
Gambar 1 memperlihatkan hasil analisis harmonik orde empat untuk data foF2 pada tanggal 2 Mei 1997. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa fungsi harmonik orde 4 dapat mendekati data dengan baik. Data pada jam 23.00 kosong, maka data tersebut dapat diisi dengan pendekatan fungsi harmoniknya sebagaimana ditunjukkan dengan garis lurus. Tetapi pemeriksaan terhadap penggunaan fungsi harmonik untuk interpolasi data menunjukkan bahwa interpolasi ini hanya valid jika data kosong tidak lebih dari 4 titik berturut-turut.

Adapun Gambar 2 menunjukkan hubungan antara rata-rata bulanan A0 terhadap indek sunspot bulanan R. Korelasi antara dua parameter tersebut adalah 0.96.

Gambar 3 memperlihatkan secara lengkap korelasi antara koefisien harmonik dengan sunspot bulanan. Melihat nilai absolut korelasi memiliki rata-rata di atas 0.69 maka sangat dimungkinkan untuk membuat model koefisien harmonik terhadap indek sunspot bulanan.



Gambar 1. Data foF2 dan pendekatan fungsi harmoniknya untuk tanggal 2 Mei 1997 di atas Sumedang.



Gambar 2. Rata-rata A0 dan hubungannya dengan indek matahari bulanan R untuk bulan Januari.

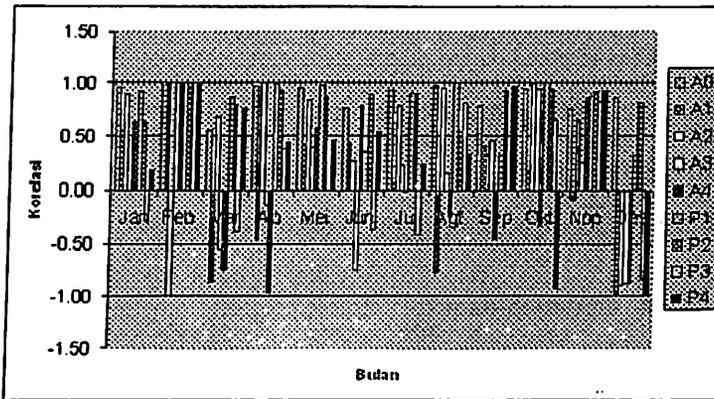
Variasi bulanan dari koefisien harmonik ke 0, A_0 , amplitudo harmonik pertama (A_1), dan ke dua (A_2) pada tahun 2001 memiliki pola yang periodik juga seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Ada variasi tengah tahunan yang tidak semetri saat matahari di ekuator (asimetri ekuinok), di mana nilai bulan April untuk A_2 (variasi semidiurnal) nilainya lebih tinggi dari bulan Oktober. Tetapi untuk A_0 lebih tinggi pada bulan September/Oktober dari pada Maret/April. Sedangkan komponen variasi diurnal, lebih didominasi oleh variasi tahunan, dengan nilai maksimum pada saat matahari ada di utara (musim dingin dibelahan bumi selatan). Ini mungkin ada kaitannya dengan winter anomaly, dimana pada musim dingin justru lebih tinggi nilai kerapatan elektronnya dibandingkan pada saat musim panas.

Karakteristik variasi tengah tahunan, variasi tahunan demikian itu juga sama untuk komponen harmonik tahun 2002 dan 2003 (tidak diperlihatkan) tetapi ada perbedaan pada komponen A0, di mana pada dua tahun terakhir asimetri ekuinok lebih tinggi pada bulan Maret/April. Ini mungkin merupakan gejala pembalikan sifat asimetri ekuinok saat matahari tinggi terhadap asimetri pada kondisi matahari rendah. Tetapi sayangnya data tahun 2000 saat matahari maksimum justru data yang ada kurang lengkap setiap bulannya sehingga variasi bulanannya tidak jelas terlihat. Sifat pembalikan asimetri ekuinok saat matahari tinggi ini sama sebagaimana diamati pada koefisien harmonik parameter TEC di lintang rendah di atas Palehua (19°N, 206° E) yang telah dilaporkan oleh Unnikrisnan dkk. (2002). Perbedaannya dengan analisis harmonik di Palehua adalah pada komponen variasi diurnal yang mana di atas Sumedang lebih dominan pada variasi tahunan sedangkan di atas Palehua lebih dominan variasi tengah tahunan. Jika dilihat letak lintangnya, Sumedang (-6.54°S) terletak lebih dekat ke garis ekuator geografi dibanding dengan lintang Palehua (19°N). Atau mungkin sifat winter anomaly pada komponen variasi diurnal di belahan bumi selatan lebih besar dibandingkan di daerah belahan bumi utara. Tetapi hal ini masih perlu klarifikasi menggunakan data ionosfer di lintang rendah di belahan bumi utara maupun sekatan selain dari dua tempat yang dibandingkan di sini.

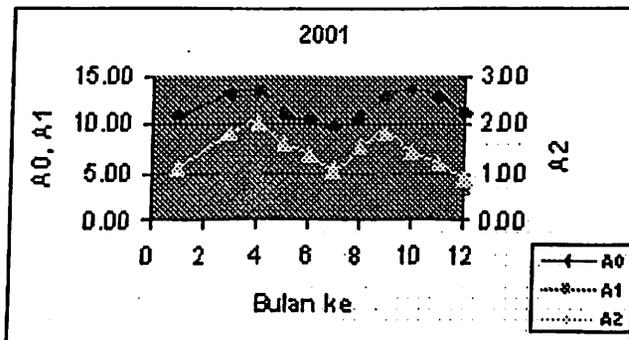
Sehingga koefisien harmonik bulanan dapat dimodelkan sebagai fungsi harmonik terhadap variasi nomor bulan dan model koefisien fungsi harmonik dapat dihubungkan secara linier terhadap indek aktivitas matahari tahunan, Rz. Kalau variasi diurnal periode dasarnya adalah 24, dalam pendekatan fungsi harmonik variasi koefisien harmonik bulanan terhadap nomor bulan periode dasarnya adalah 12 bulan. Kemudian periode berikutnya adalah 6, 4 dan 3 bulan. Sehingga dapat diperoleh untuk satu tahun sebanyak 9×9 koefisien = 81 koefisien. Antara tahun 1997 sampai 2003 hanya 3 tahun data yang relatif lengkap dan dapat dibuat model foF2 sebagai fungsi bulan dan indek matahari tahunan. Setiap koefisien model harmonik dihubungkan secara linier terhadap

sunspot tahunan, sehingga hasil akhir adalah 81×2 koefisien = 162 koefisien. Masukan model fungsi harmonik terakhir adalah bilangan sunspot tahunan R_z dan nomor bulan.

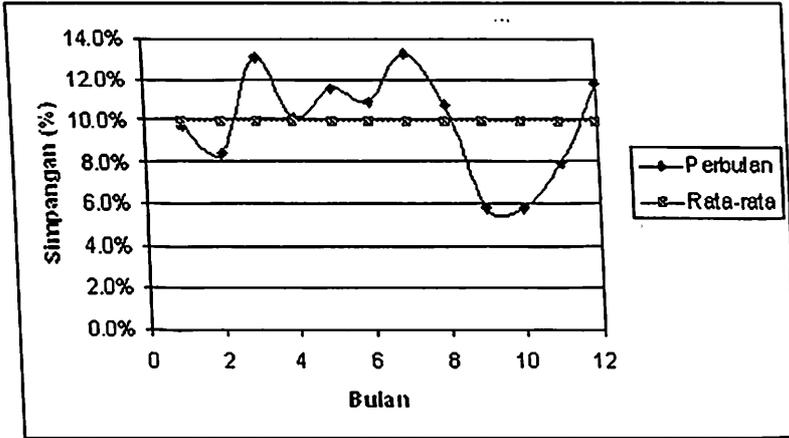
Dibandingkan dengan data pengamatan tahun 2001-2003 model yang diperoleh memiliki simpangan mutlak rata-rata sebesar 10 % seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3 Nilai korelasi antara koefisien harmonik dengan bilangan sunspot bulanan. Umumnya korelasi bernilai positif dan harga mutlaknya lebih besar dari 0.5. Rata-rata nilai korelasi untuk seluruh koefisien harmonik dan seluruh bulan sekitar 0.69.



Gambar 4 Pola variasi bulanan komponen amplitudo harmonik orde 0 (rata-rata), 1 (periode 24 jam) dan orde 2 (periode 12 jam)



Gambar 5. Simpangan mutlak rata-rata tiap bulan dan rata-rata model empiris fungsi harmonik terhadap data pengamatan selama 3 tahun dari 2001 sampai 2003.

Apabila telah diperoleh data foF2 yang lengkap dan minimal satu siklus aktivitas matahari (11 tahun) maka fungsi harmonik sampai orde empat sangat potensial untuk digunakan dalam pemodelan foF2 dan prediksi foF2 12 bulan beberapa tahun yang akan datang, mengingat prediksi sunspot tahunan telah banyak dilakukan dan dapat diakses secara online melalui internet.

4. Kesimpulan dan Saran

Analisis harmonik sampai orde 4 telah dilakukan terhadap data foF2 baik pada variasi harian dalam satu hari maupun terhadap variasi bulanan dari koefisien harmonik yang telah diperoleh. Rata-rata nilai korelasi antara koefisien harmonik bulanan terhadap bilangan sunspot bulanan sebesar 0.69. Koefisien analisis harmonik variasi bulanan dari rata-rata bulanan koefisien harmonik foF2 telah didekati secara linier terhadap indek sunspot tahunan Rz. Tetapi karena data yang relatif lengkap hanya terbatas selama 3 tahun, model empiris yang diperoleh dalam penelitian ini masih belum cukup akurat untuk prediksi foF2. Untuk dapat digunakan dalam pengembangan model minimal diperlukan data sepanjang satu siklus matahari sekitar 11 tahun. Maka pengamatan ionosfer menggunakan ionosonde vertikal di SPD Tanjungsari

masih perlu dilanjutkan secara kontinyu sehingga diperoleh data ionosfer yang cukup memadai untuk pemodelan ionosfer lokal (stasiun tunggal) menggunakan fungsi harmonik.

Perbedaan variasi tengah tahunan, tahunan dan asimetri ekuinok antara ionosfer lintang rendah di belahan bumi utara dan selatan pada komponen variasi diurnal masih perlu diklarifikasi menggunakan data pengamatan di tempat lain.

Daftar Pustaka

- Baruah, S., Bhuyan, P.K., Tyadi, T.R., 1993. *Modelling of ionospheric electron content over Lumping – An empirical approach*, Indian Journal of Radio and Space Physics 22. 325-330.
- Jain, S., Vijay, S.K., Gwal, A.K., 1996, *An empirical model for IEC over Lumping*, Advances in Space Research 18, 263-266.
- Klobuchar, J.A., 1975. *A first order, world wide, ionosphere time delay algorithm*. Report No. AFGRL-TR-0502, Air force Surveys in Geophysics, Air force Cambridge Research Laboratory, Hanscom AFB, MA, USA, p.324
- Lincoln, J.Y., Conkright, R.O., 1981 *International reference ionosphere IRI* Rep. UAG-82, National Geophysical and Solar-Terrestrial Data Centre, NOAA, Boulder, Colorado, CO, November 1981, p.243
- Liu, X.M., Huang, T.X., Pen, X.F., 1992. *An empirical model for IEC over Xing Xiang using harmonic analysis*. Proceeding of the International Beacon Sat. Symposium, Cambridge, p 100
- MCNamara, L.F., 1983. *Prediction of total electron content using the International Reference Ionosphere*. Report No AFCLTR-83-0239, Air Force Cambridge Laboratory, Hanscom AFB, MA, USA

Poulter, E.M., Hargreaves, J.K., 1981. *A harmonic analysis of ATS-6 electron content observation at Lancaster, UK. During 1975-6. Annales Geophysicae* 37, 405-415