

PENERAPAN JARINGAN NEURAL PROPAGASI MUNDUR UNTUK MEMPREDIKSI KERAPATAN ELEKTRON MAKSIMUM LAPISAN IONOSFER

Jiyo

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Abstrak

Makalah ini membahas penerapan 5 konfigurasi jaringan neural propagasi mundur yaitu M-I, M-II, M-III, M-IV, dan M-V untuk memprediksi kerapatan elektron maksimum lapisan ionosfer. Dengan data latih dan data uji hasil pengamatan di SPD Biak (1 LS, 136 BT) pada pukul 10.00, 11.00, 12.00, dan 13.00 WIT, pada September 1992, Maret 1993, Maret 1994, dan Maret 1995, menunjukkan bahwa jaringan neural M-III menghasilkan galat prediksi paling kecil yaitu 8140 el/cm³ (0,81 MHz) atau kurang dari 10% rataan harga parameter tersebut, dengan bilangan belajar optimum 0,3. Selain itu semakin banyak faktor yang dipertimbangkan sebagai masukan, maka hasil prediksi juga semakin akurat. Hal tersebut ditunjukkan oleh M-IV dan M-V. Dua jaringan terakhir juga dapat digunakan untuk melihat tingkat pengaruh suatu masukan terhadap keluarannya. Selanjutnya penerapan jaringan neural yang dikembangkan dapat dilakukan untuk memprediksi parameter atmosfer bawah, terutama sebagai metode alternatif untuk memprediksi parameter cuaca atau iklim skala mikro yang mungkin belum dapat dilakukan dengan model sirkulasi global yang ada.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan jaringan neural (*neural artificial*) telah berkembang dengan pesat dan digunakan disegala bidang didukung oleh perkembangan perangkat komputer yang sangat cepat. Pada makalah ini akan dibahas penggunaan jaringan neural tersebut untuk menentukan prediksi kerapatan elektron maksimum lapisan ionosfer. Kerapatan elektron maksimum adalah salah satu parameter ionosfer yang berkaitan erat dengan komunikasi radio dan navigasi satelit. Selain itu parameter ini juga dapat digunakan sebagai indikasi variasi energi matahari yang memasuki atmosfer bumi.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah mendapatkan satu atau beberapa konfigurasi jaringan neural propagasi mundur yang dapat digunakan untuk memprediksi kerapatan elektron maksimum lapisan ionosfer dengan galat prediksi yang cukup kecil. Selain itu, konfigurasi jaringan neural yang dikembangkan

diharapkan dapat pula digunakan untuk memprediksi parameter lapisan atmosfer bawah yang berkaitan dengan iklim.

2. KERAPATAN ELEKTRON MAKSIMUM LAPISAN IONOSFER

Lapisan ionosfer adalah bagian dari atmosfer bumi yang terletak pada ketinggian sekitar 50 km sampai dengan 1000 km di atas permukaan bumi. Lapisan ini terbentuk dari ion positif dan elektron dan biasa disebut lapisan plasma. Salah satu ukuran dari plasma adalah kerapatan elektron yang menyatakan banyaknya elektron setiap sentimeter kubik. Dan parameter yang ionosfer yang akan digunakan sebagai bahan penerapan jaringan neural propagasi mundur pada makalah ini adalah kerapatan elektron maksimum.

Besarnya kerapatan elektron lapisan plasma ionosfer identik dengan harga frekuensi plasma lapisan tersebut. Berkaitan dengan hal tersebut kerapatan elektron maksimum lapisan ionosfer berkaitan dengan frekuensi kritis lapisan tersebut (f_oF_2). Hubungan antara keduanya adalah sebagai berikut (Rishbeth, 1988)

$$N_o = \frac{1}{80,6} (f_oF_2)^2 \quad (1)$$

dengan N_o adalah kerapatan elektron maksimum (elektron/cm³) dan f_oF_2 adalah frekuensi kritis lapisan ionosfer (MHz).

Perubahan kerapatan elektron lapisan ionosfer terhadap waktu mengikuti persamaan kontinuitas sebagai berikut (Stening, 1992):

$$\frac{\partial N}{\partial t} = Q - L - \nabla(NV) \quad (2)$$

dengan Q adalah laju produktivitas ionisasi yang energi utamanya berasal dari matahari, L adalah laju rekombinasi antara ion positif dengan elektron menghasilkan partikel netral, dan V adalah kecepatan drift dari plasma.

Laju produksi elektron dari proses fotoionisasi bergantung kepada proses kimia dan besarnya fluks energi matahari yang sampai ke lapisan ionosfer. Dengan demikian suku pertama dari (2) sangat tergantung dari tingkat aktivitas matahari. Rekombinasi bergantung kepada unsur yang membentuk lapisan ionosfer. Pada ketinggian kerapatan elektron maksimum (pada ketinggian sekitar 400-500 km yang merupakan bagian dari lapisan F) unsur yang dominan adalah O^+ . Sedangkan pada ketinggian 90-100 km didominasi oleh NO^+ dan O_2^+ yang lebih cepat berekombinasi dibandingkan O^+ . Akibatnya lapisan F relatif lebih stabil dibandingkan lapisan E, sehingga pada penentuan masukan jaringan neural sebagai

faktor yang mempengaruhi variasi kerapatan elektron maksimum dapat diabaikan. Selanjutnya suku ketiga dari (2) menunjukkan transportasi elektron yang sangat dipengaruhi oleh tingkat gangguan geomagnetik yang terjadi. Menurut Wilkinson (1995) pengaruh gangguan geomagnetik terhadap ionosfer ekuator lebih kecil dibandingkan dengan pengaruhnya terhadap ionosfer di lintang menengah dan tinggi, sehingga pada bahasan ini tingkat gangguan geomagnetik juga dapat diabaikan. Walaupun secara eksplisit faktor rekombinasi dan tingkat gangguan geomagnetik tidak dijadikan masukan dalam jaringan neural, namun data f_oF_2 yang lalu yang dijadikan masukan juga telah mengandung pengaruh dari keduanya.

3. JARINGAN NEURAL PROPAGASI MUNDUR

Jaringan neural propagasi mundur adalah salah satu jenis dari jaringan neural tiruan. Suatu jaringan neural terdiri dari neurun-neuron yang terhubungkan satu dengan yang lainnya dan dikelompokkan berdasarkan jenisnya kedalam suatu lapisan. Terdapat 3 jenis neuron yaitu neuron masukan, neuron antara, dan neuron masukan. Dengan demikian lapisan yang membentuk jaringan neural juga ada 3 jenis yaitu lapis masukan (*input layer*), lapis antara (*hidden layer*) dan lapis keluaran (*output layer*). Informasi yang masuk ke neuron masukan biasanya mengalami proses normalisasi sehingga menghasilkan harga antara 0 dan 1. Baik yang masuk ke neuron antara maupun neuron keluaran, informasi akan mengalami dua proses yaitu proses pembobotan dan proses aktivasi.

Proses pembobotan yaitu mengalikan masukan X dengan suatu bilangan bobot W . Setiap hubungan antara satu neuron i dengan neuron j terdapat satu bilangan bobot W_{ji} . Bilangan bobot mula-mula diberikan harga awal yang biasanya diambil secara

acak (*random*) kemudian diperbaiki dalam proses pembelajaran jaringan.

Fungsi aktivasi yang umum digunakan adalah fungsi sigmoid sebagai berikut :

$$F(a) = \frac{1}{1 + e^{-a}} \quad (3)$$

dengan a adalah kombinasi linear dari masukan. Untuk suatu neuron j , maka

$$a_j = \sum_{i=1}^n W_{ji} X_i \quad (4)$$

Dan keluaran dari neuron j adalah $O_j = F(a_j)$. Selanjutnya proses pembelajaran jaringan adalah proses iterasi untuk memperbaiki harga bilangan bobot W_{ji} sedemikian sehingga selisih antara keluaran dengan target yang merupakan data pengamatan menjadi paling kecil. Proses iterasi adalah sebagai berikut :

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \Delta W_{ji}(t) + \alpha[W_{ji}(t) - W_{ji}(t-1)] \quad (5)$$

dengan $W_{ji}(t+1)$ adalah bilangan bobot yang diperbarui dengan suku pembelajaran :

$$\Delta W_{ji}(t) = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ji}(t)} = \eta \delta_j O_j \quad (6)$$

dengan η adalah bilangan belajar (*learning rate*) yang didapatkan secara empiris dari banyak percobaan (LiMin Fu, 1994), E adalah galat pada unit neuron j , dan δ_j adalah gradien galat. Galat E biasanya dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2} (T_j - O_j)^2 \quad (7)$$

dengan T_j adalah harga keluaran neuron j yang ditargetkan. Sedangkan α adalah bilangan momentum yang digunakan untuk mempercepat konvergensi proses iterasi.

3.1 Konfigurasi Jaringan Neural yang Dikembangkan.

Pada makalah ini dibangun 4 jaringan neural yaitu M-I, M-II, M-III, M-IV, dan M-V dengan konfigurasi seperti pada gambar 1. Perumusan suku pembelajaran (6) untuk masing-masing jaringan akan berbeda. Penurunan suku pembelajaran secara rinci dan program komputer untuk masing-masing jaringan terdapat pada Jiyo (2000).

Masukan untuk jaringan neural M-I, M-II, dan M-III dibagi menjadi 2 kelompok. Kelompok pertama adalah 7 data ionosfer (foF2) pada jam yang sama (f_i) hasil pengamatan 7 hari yang telah lewat. Kelompok kedua adalah data tingkat aktivitas matahari (F_i) yang diwakili oleh fluks gelombang radio matahari pada panjang gelombang 10,7 cm atau pada frekuensi 2800 MHz yang juga hasil pengamatan 7 hari yang lalu. Sebagai keluaran adalah foF2 pada hari ke-8. Yang membedakan antara ketiga jaringan itu adalah koneksi antar neuron dan jumlah lapisan antara.

Tidak seperti tiga jaringan terdahulu, masukan untuk jaringan neural M-IV dan M-V adalah hanya 7 data hasil pengamatan 7 hari kedepan. Pada jaringan M-IV masukannya adalah data ionosfer saja (f_i), sedangkan pada jaringan M-V hanya data matahari saja (F_i). M-IV adalah representasi dari prediksi foF2 secara deret waktu dalam bentuk jaringan neural. Sedangkan M-V adalah prediksi foF2 dengan masukan hanya faktor utama saja, sementara faktor yang lain tidak dipertimbangkan.

3.2 Kriteria Kekonvergenan dan Validasi

Proses iterasi pada langkah pembelajaran sistem jaringan neural dihentikan jika telah memenuhi kriteria kekonvergen yang didefinisikan oleh persamaan berikut :

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |\delta_i| \leq \beta \quad (8)$$

dengan M adalah jumlah seluruh iterasi dalam proses belajar dan β adalah bilangan positif yang cukup kecil. Dengan persamaan (8), iterasi dalam proses belajar dihentikan jika rata-rata gradien galat galat lebih kecil atau sama dengan β . Pada penelitian ini harga β diambil sama dengan 10^{-4} .

Setelah proses pembelajaran sistem jaringan neural telah mencapai konvergensi, maka langkah selanjutnya adalah melakukan validasi hasil prediksi dengan data pengamatan. Jadi selain sekumpulan data untuk pembelajaran (data latih), maka diperlukan sekumpulan data untuk validasi (data uji). Dengan bilangan bobot yang didapatkan setelah proses pembelajaran mencapai konvergen dapat dilakukan prediksi foF2 dengan data uji. Selisih harga foF2 hasil prediksi dengan harga foF2 pengamatan dianalisa sebagai kriteria ketelitian metode prediksi.

4. PENGAMATAN DAN DATA

Pengamatan ionosfer dilakukan di Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) Biak (1LS, 136BT) dengan peralatan ionosonda tipe IPS42/DBD43. Waktu pengamatan adalah pukul 10.00, 11.00, 12.00, dan 13.00 WIT pada saat matahari diatas ekuator (*equinox*). Secara lengkap tanggal dan bulan pengamatan terlihat pada Tabel 1. Data fluks matahari F10,7 didapatkan dari *Solar and Geophysical Summary* yang diterbitkan oleh *IPS Radio and Space Service*, Australia.

Data foF2 yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dengan cara membaca (*scaling*) ionogram dengan perangkat lunak *Scale49* dan mempunyai kesalahan kurang dari 0,5 MHz. Sedangkan satuan F10,7 sebagai indeks aktivitas matahari adalah 10^{-22} Watt m^{-2} Hz $^{-1}$.

Data latih yang digunakan adalah pengamatan tahun 1995 dan data ujinya adalah tahun 1992, 1993, 1994 untuk jam yang sama. Data latih secara grafis dapat dilihat pada gambar 2 dan 3. Selain itu juga dilakukan dengan data latih jam tertentu pada tahun 1995 dan data ujinya data jam yang lain pada tahun yang sama. Jadi ada uji secara vertikal dan horisontal pada Tabel 1.

Tabel 1. Tanggal Pengamatan yang Dilakukan

Bulan	Pukul 10.00	Pukul 11.00	Pukul 12.00	Pukul 13.00
September 1992	10-21 (12 hari)	6-21 (16 hari)	-	6-15 (10 hari)
Maret 1993	7-15 (9 hari)	3-15 (13 hari)	3-15 (13 hari)	3-15 (13 hari)
Maret 1994	7-19 (13 hari)	9-19 (11 hari)	9-19 (11 hari)	7-19 (13 hari)
Maret 1995	1-31 (31 hari)	1-31 (31 hari)	1-31 (31 hari)	1-31 (31 hari)

5. PEMBAHASAN

Iterasi pada proses belajar dapat dipercepat dengan bilangan momentum α . Pada penelitian ini harga α diambil 0,8. Dari hasil percobaan awal terhadap jaringan yang dikembangkan diketahui bilangan belajar β untuk berturut-turut adalah 6 untuk M-I, 0,3 untuk M-II, M-III, M-IV, dan M-V. Bilangan belajar optimum didapatkan dengan menjalankan masing-masing jaringan sehingga mencapai iterasi 100.000 langkah. Walaupun harga β untuk M-I adalah 6, akan tetapi jika diambil harga 0,3, maka iterasi masih tetap konvergen.

Dari langkah validasi dengan data uji data tahun 1992, 1993, 1994 (uji vertikal) didapatkan rata-rata galat prediksi pada Tabel 2. Sedangkan dari proses validasi dengan data uji data tahun 1995 (uji horisontal) didapatkan rata-rata galat pada Tabel 3.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa secara umum rata-rata galat semakin membesar dari penerapan data uji bulan

Maret 1994, Maret 1993, dan September 1992. Hal ini sebagai akibat dari penetapan data uji hanya data bulan Maret 1995. Tingkat kegiatan matahari pada tahun 1992, 1993, 1994 berbeda dengan dengan tahun 1995, sehingga galat prediksi semakin besar jika data uji semakin jauh dari tahun 1995. Hal ini berbeda dengan rataan galat pada Tabel 3. Baik data latih maupun data uji adalah pengamatan tahun 1995, hanya berbeda jamnya, maka rataan galat secara umum relatif lebih kecil dibandingkan rataan galat pada Tabel 2.

Dari seluruh rataan galat prediksi pada Tabel 2 dan 3 terlihat bahwa jaringan neural M-III mempunyai rataan galat maksimum adalah 0,81 MHz, yaitu pada penerapan data uji bulan September 1992. Harga ini merupakan yang terkecil dari galat maksimum yang dihasilkan jaringan lainnya. Dengan demikian jaringan M-III merupakan metode prediksi yang paling baik relatif terhadap 4 jaringan lainnya.

Tabel 2. Rataan Galat Prediksi (MHz) dari masing-masing Jaringan untuk Bilangan Belajar $\eta=0,3$.

Data Validasi	M-I	M-II	M-III	M-IV	M-V
Sep 1992	2,66	2,23	0,81	1,81	2,65
Mar 1993	3,13	3,51	0,01	1,77	2,61
Mar 1994	1,01	0,82	0,35	0,72	0,88

Perbedaan rataan galat prediksi yang dihasilkan oleh M-IV dan M-V diakibatkan oleh penetapan parameter masukan. Secara umum rataan galat prediksi dari M-IV lebih kecil dari M-V. Pada jaringan M-IV data masukan foF2 hasil pengamatan yang lalu telah dipengaruhi oleh seluruh faktor yang mungkin, termasuk tingkat aktivitas matahari. Sedangkan masukan jaringan M-V hanya tingkat aktivitas matahari saja, sehingga faktor lain yang mungkin berpengaruh terhadap foF2 tidak ikut dipertimbangkan. Hal demikian tentunya akan mengurangi ketelitian prediksi yang dihasilkan M-V.

Tabel 3. Rataan Galat Prediksi (MHz) dari masing-masing Jaringan untuk Bilangan Belajar $\eta=0,3$ dengan Data foF2 Bulan Maret 1995.

Data Validasi	M-I	M-II	M-III	M-IV	M-V
(1)	0,94	0,33	0,57	0,93	0,70
(2)	-0,53	-0,50	0,14	-0,21	-0,45
(3)	-0,34	-0,44	-0,09	-0,13	-0,15
(4)	-0,32	-0,38	-0,31	-0,32	-0,35

Keterangan :

- (1) Data latih foF2 pk. 10.00, data validasi pk. 11.00, 12.00, & 13.00,
- (2) Data latih foF2 pk. 11.00, data validasi pk. 10.00, 12.00, & 13.00,
- (3) Data latih foF2 pk. 12.00, data validasi pk. 10.00, 11.00, & 13.00,
- (4) Data latih foF2 pk. 13.00, data validasi pk. 10.00, 11.00, & 12.00.

Tanda (-) menunjukkan bahwa harga prediksi > harga pengamatan.

6. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

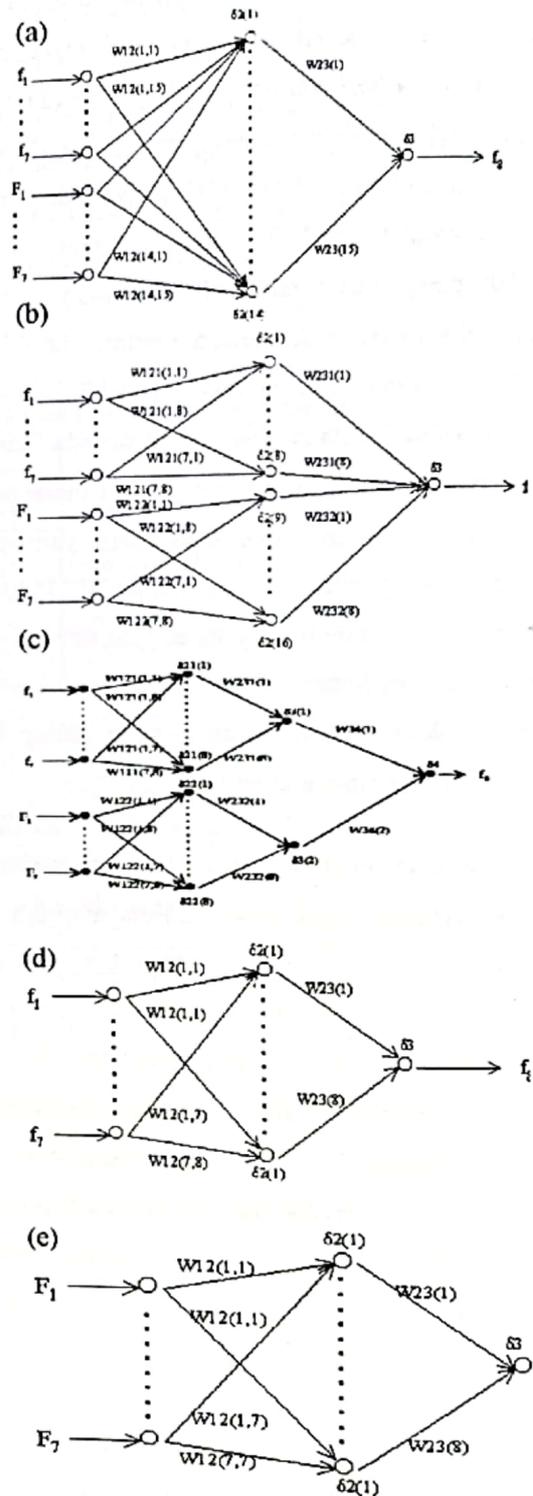
1. Dari 5 jaringan neural yang dikembangkan, M-III adalah jaringan yang menghasilkan prediksi yang terbaik dengan bilangan belajar optimum 0,3 dan rataan galat prediksi 0,81 MHz atau dalam satuan kerapatan elektron adalah 8140 elektron/cm³.
2. Semakin banyak parameter, yang mempunyai pengaruh, yang dipertimbangkan sebagai masukan dari jaringan neural, maka prediksi yang dihasilkan akan semakin akurat.
3. Jaringan M-IV atau M-V dapat digunakan untuk mengetahui tingkat pengaruh suatu parameter terhadap keluaran jaringan tersebut.
4. Jaringan neural yang dihasilkan pada penelitian ini tidak dikhususkan dipergunakan untuk memprediksi parameter lapisan ionosfer, namun dapat pula diterapkan untuk parameter atmosfer bawah. Terutama sebagai metode alternatif untuk memprediksi parameter cuaca atau iklim skala

mikro yang mungkin belum dapat dilakukan dengan model sirkulasi global yang ada.

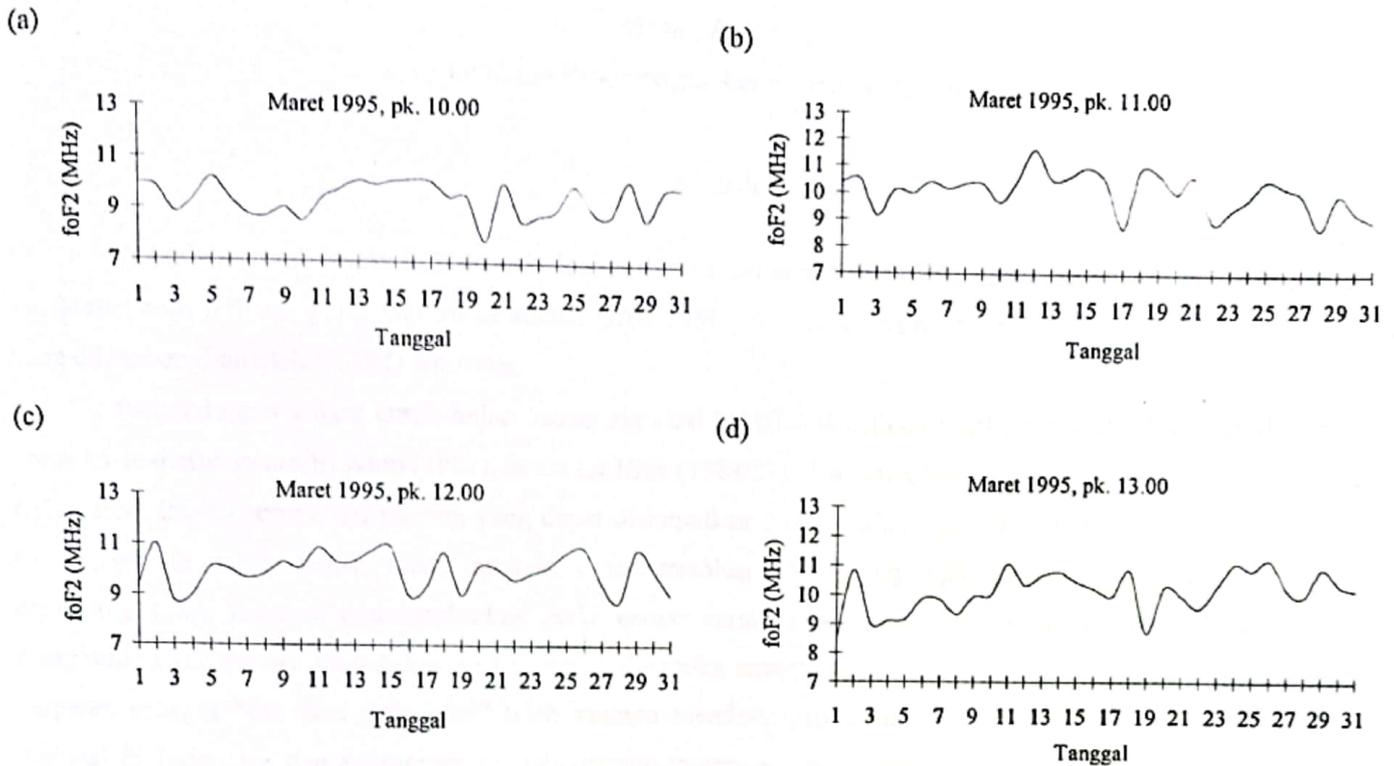
DAFTAR PUSTAKA

1. Jiyo, 2000. *Prediksi kerapatan elektron maksimum lapisan ionosfer menggunakan jaringan neural propagasi mundur*. Tesis Pascasarjana Institut Teknologi Bandung.
2. Li Min Fu, 1994. *Neural networks in computer intelligence*. McGraw-Hill, Inc., halaman 83.
3. Rishbeth, H., 1988. *Basic physics of the ionosphere : Tutorial*. J. The Institution of Electronic and Radio Engineers, Vol. 58, No. 6 (supplement), halaman S207-S-223.
4. Stening, R. J., 1992. *Modelling the low latitude F region : Review paper*. J. Atm. and Terr. Phys., Vol. 54 No. 11/12, halaman 1387-1412
5. Wilkinson, P. J., 1995. *Predictability of ionospheric variations for quiet and disturbed conditions*. J. Atm. and Terr. Physics, Vol. 57, No. 12, halaman 1469-1481

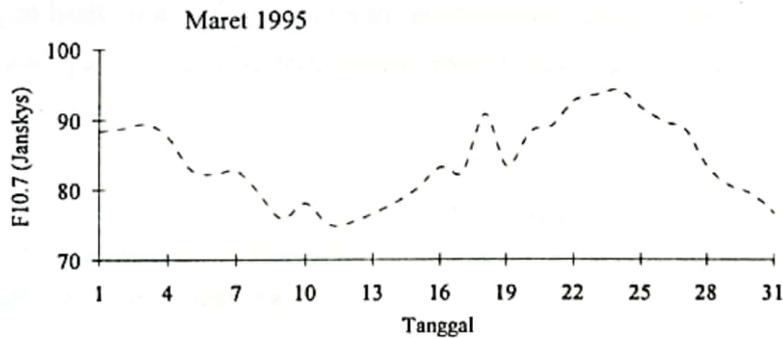
LAMPIRAN



Gambar 1. Konfigurasi jaringan neural yang digunakan (a) M-I, (b) M-II, (c) M-III, (d) M-IV, dan (e) M-V.



Gambar 2. Grafik foF2 yang digunakan sebagai data latih.



Gambar 3. Grafik F10,7 yang digunakan sebagai masukan pada proses belajar.