

Prediksi TEC 1 Sampai 48 Jam ke Depan di atas Jawa Barat Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Regresi Umum

*Buldan Muslim^{1,2)}, Hasanuddin Z.A.²⁾, The Houw Liong³⁾ dan
Wedyanto Kuntjoro²⁾*

¹⁾Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi

Pusat Pemnafaatan Sains Antariksa, LAPAN

Jl. Dr. Junjuran 133 Bandung 40173

²⁾Kelompok Keilmuan Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung

3). Program Studi Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung

Abstrak

Makalah ini menjelaskan metode pemodelan TEC di atas Jawa Barat harian menggunakan jaringan syaraf tiruan (JSTRU). Data total electron content (TEC) di atas Jawa Barat telah diturunkan dari data GPS Cibinong menggunakan kombinasi data kode dan fase. Berdasarkan data tersebut model TEC 3 dimensi sebagai fungsi lintang, bujur dan waktu universal harian dapat dibuat menggunakan JSTRU. Selama proses pembelajaran TEC dari salah satu satelit yang teramati setiap jamnya digunakan sebagai data uji. Model yang optimum adalah model JSTRU dengan spread antara 0,5 – 4 untuk variasi spasial dan 0,5 untuk representasi variasi temporal TEC dalam satu hari. Dalam upaya mendapatkan model prediksi TEC 1 sampai 48 jam ke depan TEC di atas Jawa Barat, data time series TEC keluaran model jaringan tersebut selama tahun 2005 dimodelkan kembali menggunakan JTRU.

Kata kunci: GPS, TEC, model, prediksi.

1. Pendahuluan

Prediksi *total electron content* (TEC) ionosfer 1 sampai 2 hari yang akan datang secara langsung dapat memberikan informasi koreksi ionosfer melalui persamaan konversi dari TEC ke bias ionosfer pada setiap pengamatan sinyal GPS sehingga dapat digunakan untuk kalibrasi dalam penentuan posisi real time secara absolut menggunakan GPS frekuensi tunggal. Jika model hubungan TEC yang diturunkan dari GPS dengan frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (f_oF_2) hasil pengamatan ionosonde vertikal telah diperoleh maka prediksi TEC beberapa hari ke depan dapat digunakan untuk prediksi f_oF_2 sehingga dapat digunakan untuk pedoman operasional harian komunikasi HF terutama untuk meningkatkan keberhasilan komunikasi ionosfer lokal menggunakan antenna NVIS (*near vertical incidence skywave*).

Prediksi TEC di daerah lintang rendah Indonesia beberapa hari ke depan dengan akurasi yang tinggi sampai saat ini masih sulit diperoleh. Hal ini karena kondisi ionosfer harian yang tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas matahari dalam orde beberapa menit dan dipengaruhi oleh aktivitas geomagnet dalam orde beberapa jam tetapi juga dipengaruhi oleh aktivitas gelombang atmosfer ekuator yang relatif kuat sehingga dapat menjalar sampai lapisan ionosfer.

Pada makalah ini dijelaskan metode penurunan TEC dari data GPS, metode pemodelan TEC harian dan prediksinya menggunakan jaringan syaraf tiruan regresi umum dan hasil-hasil prediksi TEC di atas Jawa Barat mulai dari 1 jam sampai 48 jam ke depan menggunakan jaringan syaraf tiruan regresi umum (JSTRU).

2. Data dan Metodologi

2.1 Penurunan TEC dari data GPS

Data pengamatan GPS stasiun tetap Bakosurtanal yang terletak di Cibinong, Jawa Barat telah digunakan untuk penentuan TEC menggunakan kombinasi data kode dan fase yang secara rinci dapat dilihat pada makalah

Buldan M. (2006a). Secara singkat tahap-tahap penurunan TEC dari data GPS adalah sebagai berikut.

Langkah pertama adalah kombinasi data kode dari pengamatan sinyal GPS yaitu dengan pengurangan pengamatan kode pada sinyal L1 yang dilambangkan dengan P_1 dan pengamatan kode pada sinyal L2 yang dinotasikan dengan P_2 sehingga diperoleh persamaan

$$STEC_k = \frac{f_1^2 [(P_1 - P_2) - B_i - B^p]}{40.3(1 - \gamma)} \quad (1)$$

Dengan P_1 adalah pengamatan jarak kode satelit GPS pada frekuensi L_1 (1.57542 GHz) dan P_2 adalah pengamatan jarak kode satelit GPS pada frekuensi L_2 (1.2276 GHz), B_i adalah bias differensial pengamatan jarak kode untuk alat penerima dan B^p adalah bias differensial pengamatan kode untuk satelit. f_1 adalah frekuensi gelombang pembawa pada L_1 dan γ adalah perbandingan frekuensi pada L_1 dengan frekuensi pada L_2 (f_1 / f_2).

Langkah kedua adalah penurunan TEC dari data fase (TEC_Φ) menggunakan persamaan yang diperoleh dengan pengurangan fase pada gelombang L_1 dan L_2 sebagai berikut

$$STEC_\Phi = \frac{f_1^2 [(\lambda_1 \Phi_1 - \lambda_2 \Phi_2) - (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) - b_i - b^p]}{40.3(1 - \gamma)} \quad (2)$$

Dengan Φ_1 adalah pengamatan fase sinyal satelit GPS pada frekuensi L_1 dan Φ_2 adalah pengamatan fase sinyal satelit GPS pada frekuensi L_2 . λ_1 panjang gelombang pada frekuensi L_1 dan λ_2 panjang gelombang pada frekuensi pada L_2 . N adalah jumlah siklus ambiguitas yang tidak diketahui, b_i dan b^p adalah bias differensial pengamatan jarak fase untuk penerima dan satelit masing-masing.

Selanjutnya dengan pengurangan persamaan (1) dengan (2) dapat dihasilkan perbedaan antara TEC kode dan TEC fase sebagai berikut:

$$\Delta TEC_n = \frac{f_1^2 [(P_1 - P_2) - B_1 - B^p + (\lambda_1 \Phi_1 - \lambda_2 \Phi_2)]}{403(1-\gamma)} + \frac{f_1^2 [-(\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) - b_1 - b^p]}{403(1-\gamma)}$$

Secara teori nilai ΔTEC ini tetap selama periode tertentu karena antara kode dan fase melewati ionosfer yang sama lokasinya. Maka dapat diperoleh secara lebih halus (*smooth*) dengan perata-rataan dalam selang waktu tertentu. Nilai rata-rata perbedaan tersebut pada waktu pengamatan N dapat diperoleh secara rekursif menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} \Delta TEC_N &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta TEC_n = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (TEC_{k,n} - TEC_{\phi,n}) \\ &= \frac{1}{N} \left[\sum_{n=1}^{N-1} (TEC_{k,n} - TEC_{\phi,n}) + (TEC_{k,N} - TEC_{\phi,N}) \right] \end{aligned}$$

Setelah nilai rata-rata perbedaan tersebut dihitung maka dapat ditambahkan pada persamaan TEC fase untuk mendapatkan TEC kombinasi TEC kode dan TEC fase sebagai berikut

$$TEC_{SM,N} = TEC_{\phi,N} + \Delta TEC_N$$

Yang dengan memasukkan persamaan-persamaan yang sesuai dapat disusun kembali menjadi

$$TEC_{SMN} = \frac{f_1^2 (\lambda_1 \Phi_1 - \lambda_2 \Phi_2)}{403(1-\gamma)} + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{f_1^2 [(P_1 - P_2) + (\lambda_1 \Phi_1 - \lambda_2 \Phi_2)]}{403(1-\gamma)} \right) + \frac{f_1^2 (-B_1 - B^p)}{403(1-\gamma)} \tag{3}$$

Penulis telah membuat program dalam matlab dan versi dos yang dapat digunakan untuk memproses data GPS format RINEX, data navigasi presisi format SP3 dan data koordinat receiver untuk menghitung TEC_k , TEC_{ϕ} , *detrended* TEC_{ϕ} , dan TEC_{SM} . *Detrended* TEC_{ϕ} adalah nilai perbedaan nilai TEC fase pada pengamatan t dari nilai TEC fase pada pengamatan $t-1$, yang dapat

digunakan untuk deteksi *cycle slips*. Jika ada *cycle slips* maka perhitungan TEC_{SM} dimulai lagi dari saat setelah terjadi *cycle slips*. Hasil perhitungan TEC sampai dalam tahap ini adalah berupa RAW TEC yaitu nilai TEC yang masih mengandung bias hardware receiver, bias hardware satelit, nois pengukuran, efek multipath, dan bias ionosfer orde tinggi.

Perlu dicatat bahwa penurunan TEC dalam makalah ini adalah dari ekspansi indek bias orde pertama. Orde tinggi (orde 2 dan seterusnya) tidak diperhitungkan dalam penurunan TEC. Dan sampai saat ini umumnya penurunan TEC hanya dilakukan berdasarkan ekspansi indek bias sampai orde pertama saja.

2.2 Kalibrasi RAW TEC

Setelah diperoleh RAW TEC setiap selang waktu pengamatan 30 detik, kemudian dilakukan kalibrasi RAW TEC menggunakan metode kuadrat terkecil untuk mengestimasi bias yang terdiri dari bias hardware receiver dan satelit, bias ionosfer orde tinggi, dan menghilangkan efek multipath dan nois pengukuran. Untuk itu dipilih data RAW TEC dengan sudut elevasi di atas 60 derajat untuk mereduksi efek multipath, dan menggunakan kriteria bahwa nilai TEC tidak mungkin negatif dan besar TEC tidak lebih dari 100 TECU serta kesalahan estimasi TEC tidak lebih dari 10 %. Batasan maksimum TEC ini tidak mutlak tetapi tergantung pada kondisi geografi dan aktivitas matahari.

Dengan asumsi bahwa ionosfer berupa lapisan tipis yang terletak pada ketinggian sekitar 350 km (asumsi ini jelas tidak sesuai dengan kondisi fisis ionosfer yang berlapis-lapis), dapat ditentukan TEC arah vertikal yang melintasi titik ionosfer yaitu titik koordinat ionosfer pada ketinggian 350 km yang dilintasi sinyal GPS dari satelit menuju receiver. Hubungan antara TEC vertikal (VTEC) dengan slant TEC (TEC) dan sudut zenit titik ionosfer dapat ditulis dalam bentuk

$$(TEC_R^s)_i = M(z)(VTEC_R^s)_i + C \quad (4)$$

dengan $M(z) = \left[1 - \left(\frac{R}{R+H} \right)^2 \sin^2 z \right]^{1/2}$, R adalah jari-jari bumi dan H

adalah ketinggian lapisan ionosfer model lapisan tunggal.

Dalam makalah ini nilai C diasumsikan konstan dalam selang waktu tertentu, dan bias hardware satelit diasumsikan jauh lebih kecil dibanding bias hardware receiver, nois pengukuran dan multipath juga dianggap dapat diabaikan dengan memilih sudut elevasi lebih besar dari 60 derajat dan bias ionosfer orde tinggi juga konstan. Dengan demikian asumsi nilai C konstan hanya sesuai dalam jangka waktu tertentu dan dalam makalah ini dianggap konstan dalam waktu satu bulan. Maka untuk satu bulan dapat dipakai nilai kalibrasi receiver adalah nilai rata-rata estimasi C harian.

2.3 Pemodelan TEC lokal harian dan prediksinya sampai 48 jam ke depan

Nilai VTEC yang diperoleh dari kombinasi data kode dan fase GPS sebagaimana telah diterangkan pada 2.1 bisa digunakan sebagai sasaran (target) pembelajaran JSTRU. Dari satu GPS receiver bisa diturunkan VTEC minimal dari 4 satelit secara simultan. VTEC dari salah satu satelit digunakan dalam uji model JSTRU dan sisanya digunakan dalam pembelajaran jaringan.

Pemodelan VTEC JSTRU dibagi dalam tiga tahap. Pertama pemodelan JSTRU1 untuk mendapatkan model spasial VTEC1 setiap jam dari jam 00.00 sampai jam 23.00 UT. Dalam tahap ini input model adalah lintang dan bujur geografi titik ionosfer yang dilewati sinyal GPS. Untuk satu hari diperoleh 24 model spasial JSTRU1. Pada tahap kedua, VTEC1 model JSTRU1 jam 0 sampai 23 UT untuk lintang mulai -12 sampai 0 derajat geografi dan mulai bujur 100 – 110 derajat, digunakan sebagai bahan pembelajaran model JSTRU2. Sebagai input dalam pemodelan tahap dua ini adalah waktu (UT), lintang dan bujur geografi, sedangkan outputnya adalah VTEC2 harian. Target JSTRU2 adalah VTEC1 keluaran model JSTRU1 jaman hasil pembelajaran, tahap pertama.

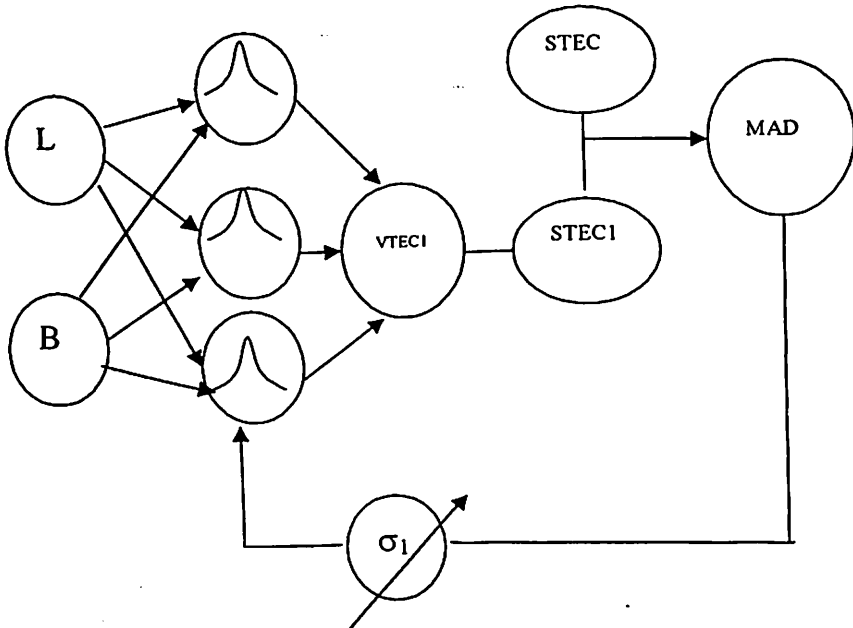
Selama pembelajaran JSTRU dilakukan perubahan parameter σ dalam rentang tertentu baik untuk tahap pertama maupun tahap kedua. Dengan nilai σ yang bervariasi dapat diperoleh model VTEC JSTRU dengan kesalahan yang berbeda-beda dibandingkan dengan data uji. Kemudian dipilih nilai parameter σ yang memberikan kesalahan JSTRU yang terkecil. Dalam penelitian ini kesalahan model diukur menggunakan nilai rata-rata kesalahan mutlak (*mean absolute deviation, MAD*).

Setelah diperoleh model VTEC JSTRU harian, dengan kombinasi spread model jaman dan model harian yang dinotasikan sebagai JSTRU(1:0.5:10,0.5) dengan maksud spread jaman dalam rentang 1 sampai 10 dengan laju perubahan 0.5, dan spread harian adalah 0.5, model VTEC tersebut digunakan untuk prediksi STEC setiap selang waktu 30 detik sebagaimana data STEC pada awalnya adalah setiap selang 30 detik. Kesalahan absolut rata-rata (MAD) antara prediksi STEC JSTRU dengan STEC pengamatan dirata-rataan setiap jam mulai jam 0 – 23 UT. Secara skematik algoritma pembelajaran JSTRU tahap 1 dan 2 dapat dijelaskan menggunakan Gambar 1 dan 2 (Buldan M., 2006b).

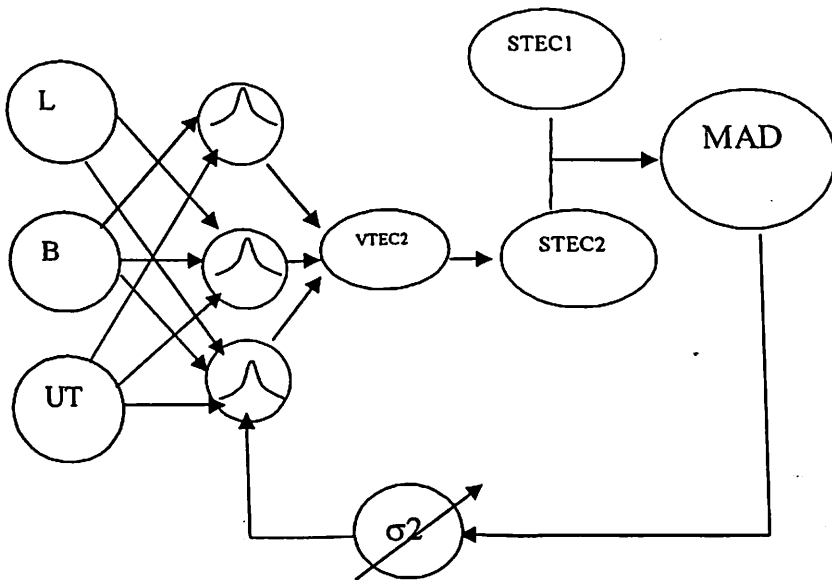
Setelah diperoleh model VTEC JSTRU harian dengan input lintang, bujur dan UT, pada tahap 3 dilakukan pemodelan runtut waktu pada grid tertentu di atas Jawa Barat. Model prediksi runtut waktu VTEC juga dibuat menggunakan JSTRU3 dengan masukan model adalah nilai-nilai VTEC 24 jam sebelumnya dan keluarannya adalah nilai VTEC mulai 1 sampai 48 jam ke depan.

Jika telah diperoleh prediksi VTEC setiap grid di atas Jawa Barat, melalui interpolasi dapat dibuat peta prediksi TEC mulai 1 sampai 48 jam ke depan (prediksi 2 hari yang akan datang) berdasarkan 24 jam data yang diperoleh terakhir (1 hari data GPS).

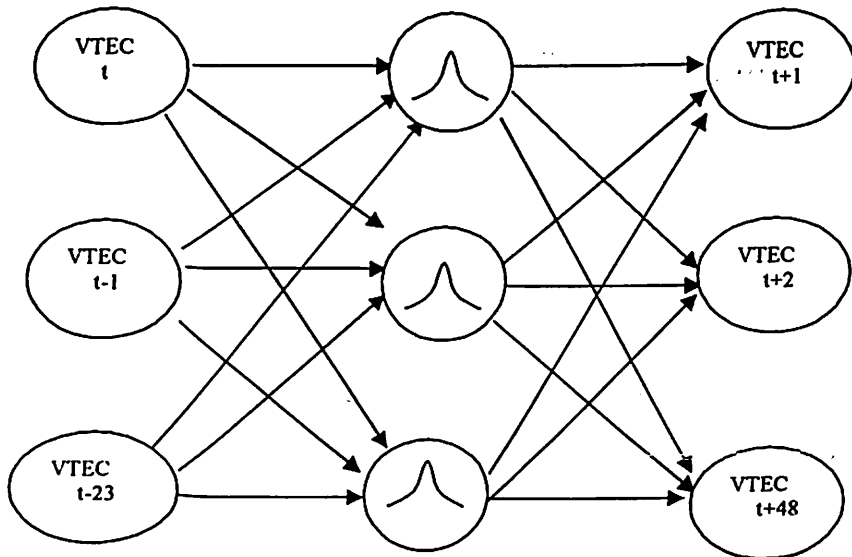
Dalam pemodelan VTEC tahap 3 ini kami menggunakan nilai 24 jam VTEC sebelumnya dan keluarannya adalah VTEC 48 jam ke depan sebagaimana dapat digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Proses pembelajaran JSTRU tahap1 (model jaman), dengan mengubah ubah σ_1 dipilih STECI JSTRU yang memiliki MAD terkecil



Gambar 2. Proses pembelajaran JSTRU tahap 2 (model harian) dengan data model STECI JSTRU yang telah diperoleh pada tahap 1 sebagai target dipilih model STECI yang memiliki MAD terkecil.

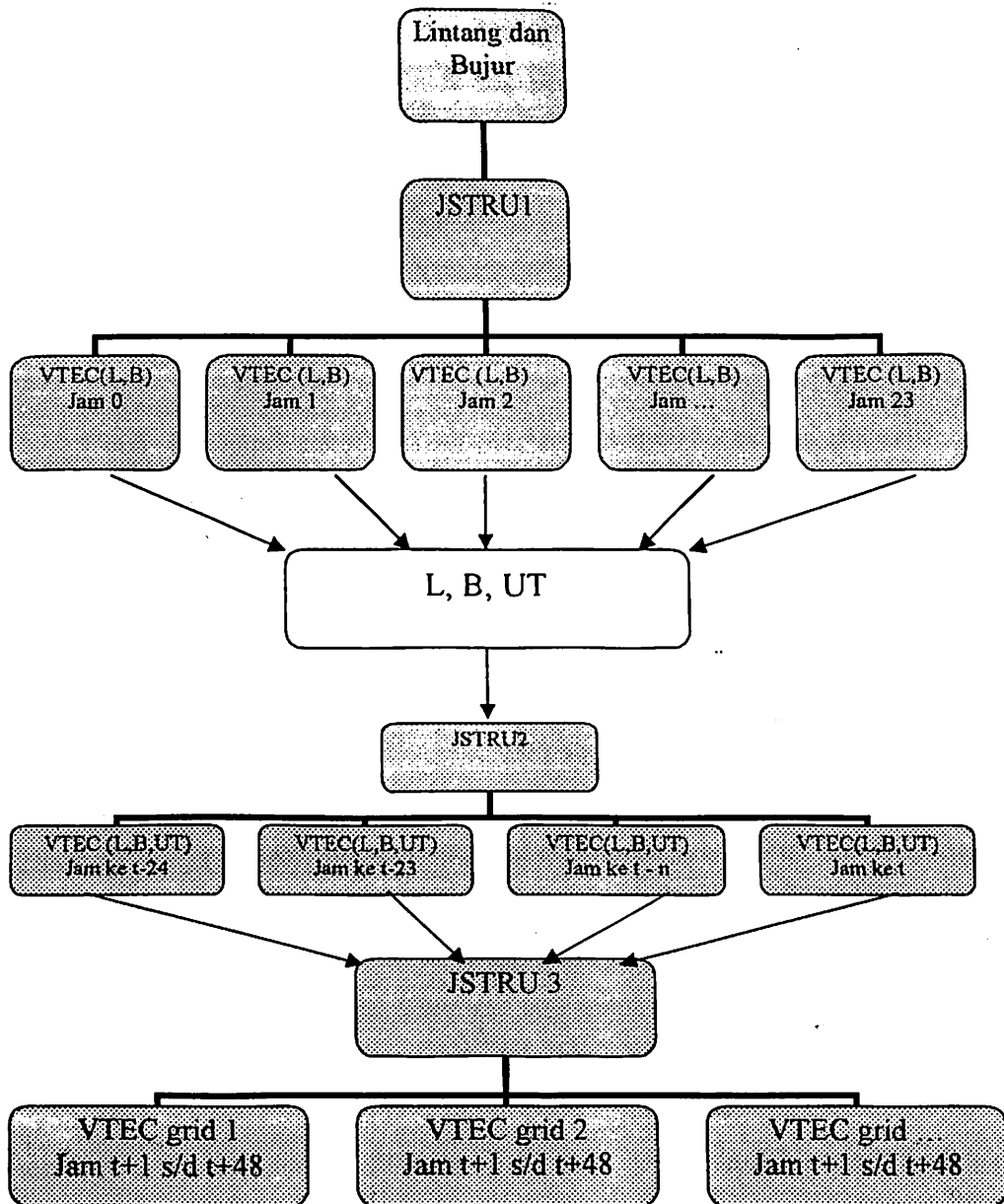


Gambar 3. Pemodelan JSTRU tahap 3 dengan input 24 jam sebelumnya dirancang untuk dapat memprediksi 48 jam ke depan.

Sebagai bahan pembelajaran jaringan adalah 75 % data dan sisanya 25 % digunakan pengujian model.

Tiga tahap pemodelan dan prediksi VTEC 48 ke depan ini dapat dilihat pada Gambar 4. Tahap pertama pemodelan TEC spasial di atas Jawa Barat menggunakan JSTRU1, dengan masukan lintang dan bujur geografi titik ionosfer. Model spasial ini dibuat setiap dalam selang waktu 1 jam di mana GPS mengamati sinyal GPS setiap 30 detik. Jadi dalam tahap ini dalam selang waktu satu jam ionosfer dianggap homogen dan konstan sehingga pengamatan titik ionosfer yang berbeda lokasinya karena pergerakan satelit GPS bisa dijadikan data pengamatan TEC pada lokasi yang berbeda di atas Jawa Barat dan dapat digunakan sebagai input model TEC spasial pada jam tertentu. Pada tahap kedua pemodelan JSTRU merekonstruksi TEC keluaran JSTRU1 pada titik koordinat tertentu sebagai fungsi lintang, bujur dan waktu universal menggunakan JSTRU2. Keluaran JSTRU2 harian pada lokasi tertentu dalam satu tahun dapat dijadikan sebagai data TEC runtut waktu. Sehingga model prediksi TEC pada lokasi tertentu bisa dimodelkan sebagai fungsi TEC

beberapa jam sebelumnya (24 jam sebelumnya) dengan keluaran TEC pada 1 sampai 48 jam kedepan.

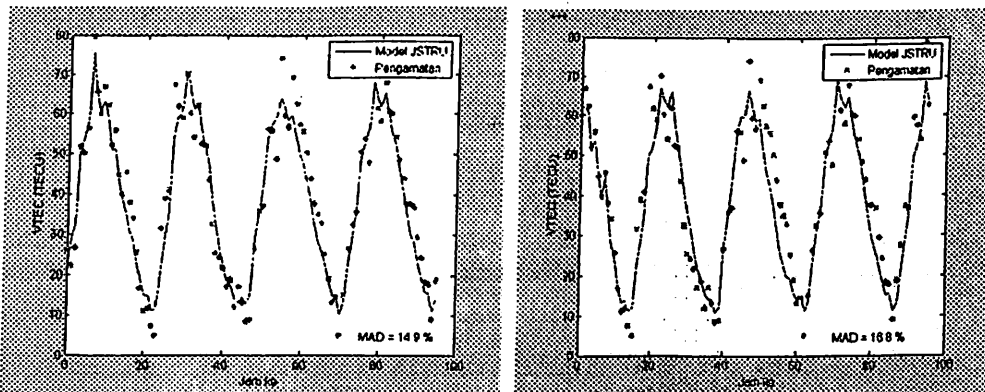


Gambar 4. Skema gabungan pembelajaran tahap 1, 2 dan 3 dalam prediksi TEC 48 jam ke depan.

3. Hasil dan Pembahasan

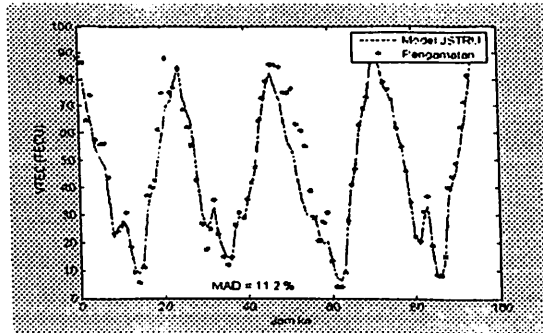
Pemodelan VTEC sebagai fungsi lintang dan bujur pada jam tertentu (tahap 1) dan pemodelan harian VTEC sebagai fungsi lintang, bujur dan UT (tahap 2) telah dilakukan dalam satu paket pembelajaran dengan kombinasi spread σ_1 dan σ_2 yang kami tulis sebagai $JSTRU(\sigma_1, \sigma_2)$, di mana σ_1 adalah spread untuk model VTEC JSTRU1 sebagai fungsi lintang dan bujur pada jam tertentu, dan σ_2 adalah spread untuk model VTEC JSTRU2 harian sebagai fungsi lintang, bujur dan UT.

Berbagai kombinasi rentang spread telah dicoba untuk pemodelan VTEC jaman dan harian yang mana kesalahan dari model yang diukur dengan MAD (*mean absolute deviation*). Dari berbagai kombinasi spread untuk model spasial dan model spasio-temporal diperoleh spread model jaman (spasial) 0.5 – 4 dan spread model harian (spasio-temporal) sebesar 0.5 yang dinotasikan dengan model $JSTRU(0.5-4, 0.5)$ dengan rata-rata simpangan mutlak terkecil sebesar 5.7 TECU. Dengan model tersebut kami telah membuat model harian VTEC untuk tahun 2005. Berdasarkan model VTEC JSTRU harian tersebut dibuat model runtut waktu jaman pada setiap grid di atas Jawa Barat menggunakan JSTRU3 dengan masukan adalah VTEC 24 jam sebelumnya dan keluarannya adalah VTEC mulai 1 jam sampai 48 jam ke depan.

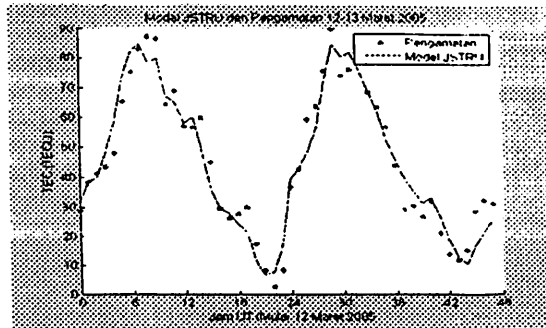


Gambar 5. Model prediksi VTEC JSTRU 1 jam ke depan pada koordinat ($0^{\circ}, 107.5^{\circ}$)

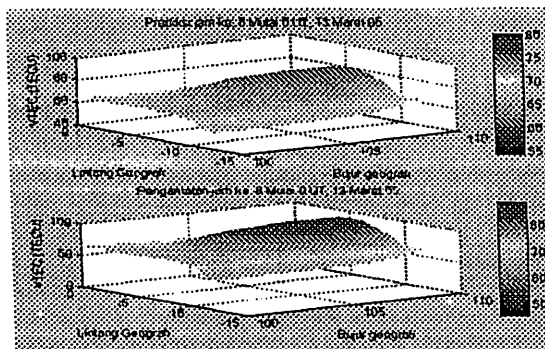
Pada Gambar 5 sebelah kiri diperlihatkan prediksi 1 jam ke depan VTEC pada koordinat $(0^{\circ}, 107.5^{\circ})$ dan bagian kanan memperlihatkan perbandingan model prediksi 9 jam ke depan dengan data pengamatan VTEC pada titik ionosfer yang sama. Pada titik ionosfer $(-6.8^{\circ}, 107.5^{\circ})$ prediksi 9 jam ke depan ditunjukkan pada Gambar 6. Sedangkan prediksi VTEC 48 jam ke depan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Model prediksi VTEC 1 jam (kiri) dan 9 jam (kanan) ke depan.



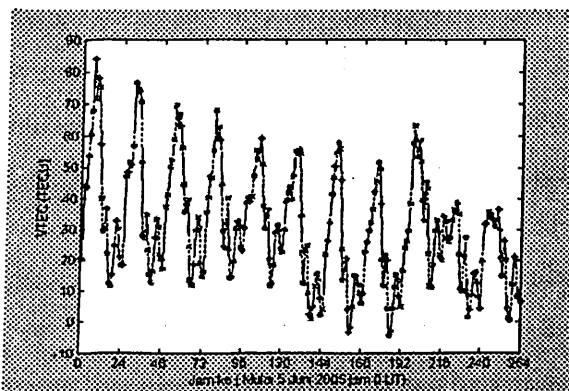
Gambar 7. Model prediksi VTEC JSTRU 1 – 48 jam ke depan.



Gambar 8. Peta prediksi VTEC 48 jam ke depan pada jam 8 UT. Panel atas adalah peta prediksi VTEC dan panel bawah adalah data VTEC.

Dengan memprediksi tiap-tiap grid dengan jarak lintang dan bujur masing-masing 2 dan 2.5 derajat dapat diperoleh peta prediksi VTEC di atas Jawa Barat seperti dapat dilihat pada Gambar 8.

Kami telah memodelkan VTEC harian menggunakan JSTRU(0.5-4,0.5) untuk tahun 2005. Penentuan model tersebut hanya didasarkan pada pemilihan spread jaman dan harian berdasarkan data tanggal 2 Januari 2004. Model JSTRU untuk VTEC di atas Bandung mulai tanggal 5 – 15 Juni 2005 ditunjukkan pada Gambar 9. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa model JSTRU tersebut masih baik dan konsisten dengan variasi diurnal TEC pada umumnya. Tetapi mulai tanggal 10 Juni 2005 model tersebut sudah tidak konsisten lagi dengan variasi diurnal yang sebenarnya. Hal tersebut bisa disebabkan oleh lebar fungsi aktivasi yang sudah tidak sesuai lagi untuk tanggal tersebut. Dan nilai minimum VTEC yang lebih kecil dari 0 mengindikasikan ketidaksesuaian nilai kalibrator yang awalnya hanya ditentukan dari rata-rata data 3 bulan. Dengan demikian perlu diselidiki lagi gabungan rentang spread model spasial dan temporal JSTRU yang dapat merepresentasikan TEC di atas Jawa Barat pada semua posisi garis edar matahari mulai Januari sampai Desember. Selain itu perlu disusun algoritma untuk penentuan nilai kalibrator TEC yang dapat digunakan untuk kalibrasi harian atau bulanan dari nilai STEC yang diturunkan dari data GPS.



Gambar 10. Model JSTRU(0.5-4,0.5) pada tanggal 5 – 15 Juni 2005.

Berdasarkan data uji sebanyak 25 % dari data keseluruhan yang digunakan dalam pembelajaran, akurasi model prediksi VTEC 48 jam ke depan sekitar 23 % pada lintang 0 derajat dan bujur 107.5 derajat, sedangkan pada lintang 6.8 derajat dan bujur 107.5 derajat kesalahan model sekitar 31 %.

4. Kesimpulan dan Penelitian Lanjut

Model prediksi VTEC 48 jam ke depan dapat diperoleh menggunakan jaringan syaraf tiruan regresi umum dengan 3 tahap. Pertama pemodelan VTEC spasial setiap jam dalam satu hari dari data VTEC yang diturunkan dari data pengamatan GPS. Sebagai input model dalam tahap ini adalah lintang dan bujur titik ionosfer dan outputnya adalah VTEC di atas Jawa Barat. Tahap berikutnya pemodelan spasial dan temporal VTEC harian dengan input lintang dan bujur titik ionosfer serta waktu universal. Tahap terakhir adalah membuat model prediksi VTEC 48 jam ke depan dengan masukan VTEC 24 jam sebelumnya.

Model JSTRU yang optimum untuk 3 tahap tersebut dipilih pada rentang spread (lebar fungsi aktivasi jaringan) 0.5-4 untuk model VTEC spasial tahap pertama dan dengan spread 0.5 untuk model VTEC harian tahap kedua dan dengan spread dalam orde belasan untuk model prediksi VTEC 48 jam ke depan.

Dengan kombinasi spread dalam pemodelan tahap pertama dan kedua diperoleh model yang tidak konsisten mulai bulan Juni 2005. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi spread tidaklah mudah ditentukan hanya dalam rentang yang sempit. Atau dengan kata lain rentang spread yang digunakan dalam pemilihan model JSTRU yang optimum haruslah cukup lebar untuk dapat mengikuti variasi musim atau variasi bulanan dari variabilitas spasial dan variasi diurnal VTEC di atas Jawa Barat.

Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lebar spread yang optimum yang dapat merepresentasikan VTEC selama satu tahun meliputi berbagai kondisi posisi garis edar matahari. Pemilihan model JSTRU yang

optimum untuk 3 tahap prediksi VTEC 48 jam ke depan perlu dilakukan dalam satu paket pembelajaran dan pengujian model.

Daftar Pustaka

Specht D. F., (1991) *A General Regression Neural Network*, IEEE Transaction on neural networks Vol. 2, No. 6, November 1991.

Buldan Muslim, Hasanuddin Z.A., The Houw Liong, Wedyanto K., Cecep S., Heri A. dan M. Gamal (2006a) *Pemodelan TEC Regional dari Data GPS Stasiun Tetap di Indonesia dan Sekitarnya*, PROC. ITB Sains & Tek., Vol. 38 A, No. 2, 163-180.

Buldan Muslim, Gatot W., Wedyanto Kuntjoro (2006b) *Pemodelan Ionosfer di Atas Jawa Barat dari data GPS Bakosurtanal Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Regresi Umum*, Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Aplikasinya, Universitas Parahyangan.