

Perbandingan antara Model TEC Regional Indonesia *Near real Time* dan Model TEC GIM (*Global Ionospheric Map*) Berdasarkan Jumlah Stasiun Pengamatan GPS yang Digunakan

Prayitno Abadi dan Buldan Muslim

Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

Jl. Dr. Junjunan 133 Bandung

Email: prayabadi@bdg.lapan.go.id (Prayitno Abadi);

mbuldan@yahoo.co.id (Buldan Muslim)

Abstrak

Perbandingan antara model TEC regional Indonesia *near-real time* dan model TEC GIM (*Global Ionospheric Map*) telah dapat dilakukan. Perbandingannya berdasarkan variasi jumlah stasiun pengamatan GPS yang digunakan dalam model TEC regional Indonesia, yaitu 4, 6, dan 8 stasiun pengamatan GPS. Metode perbandingannya dengan mencari selisih absolut nilai TEC kedua model secara spasial (lintang dan bujur) yang mencakup wilayah Indonesia. Model TEC regional Indonesia yang menggunakan 4 dan 6 stasiun pengamatan GPS memiliki selisih TEC terbesar sekitar 10 TECU pada bagian barat dan selatan Sumatera serta bagian barat dan tengah Jawa. Model TEC regional yang menggunakan 8 stasiun pengamatan GPS memiliki selisih TEC sekitar 7 TECU pada daerah selatan Indonesia (Pulau Jawa), kemudian untuk Bali dan pulau Nusa memiliki nilai selisih 12 TECU terhadap model GIM.

Kata kunci: Model TEC, Stasiun pengamatan GPS, Selisih absolut, TECU

Abstract

Comparison between TEC regional Indonesia (near-real time) and GIM (Global Ionospheric Map) model has to be done. The comparison is based on variations in the number of GPS stations that used TEC regional Indonesia model, namely 4, 6, and 8 GPS stations. Then, the method of comparison is to find spatial (longitude and latitude) absolute difference of TEC values between those two models. The biggest absolute difference of TEC value of TEC regional Indonesia model that using 4 and 6 GPS stations is 10 TECU in the southern and western Sumatera, and also western and middle Java. The absolute differences of TEC value of TEC regional Indonesia model that using 8 GPS stations are 7 TECU in Java Island and 12 TECU in Bali and Nusa Tenggara.

Keywords: TEC model, GPS stations, Spatial absolute difference, TECU

1. Pendahuluan

Ionosfer merupakan lapisan bagian atas atmosfer Bumi (di atas 100 km) yang berisi partikel-partikel bermuatan, yaitu ion-ion positif dan elektron-elektron. Tidak hanya cahaya tampak, Matahari setiap hari memancarkan gelombang elektromagnetik berupa ultraviolet ekstrem (UVE). Oleh lapisan atmosfer Bumi

bagian atas, radiasi UVE ini akan diserap atom-atom netral di sana. Akibat penyerapan tersebut, terjadilah ionisasi pada atom-atom netral yang kemudian terbentuklah ion-ion positif dan elektron-elektron. Inilah proses terbentuknya lapisan ionosfer di bagian atas atmosfer Bumi.

Keberadaan ionosfer yang berisi partikel-partikel bermuatan sangat berpengaruh pada penjalaran gelombang radio. Salah satunya adalah pengaruh ionosfer pada penjalaran sinyal gelombang radio dari satelit GPS ke penerima sinyal GPS yang ada di permukaan Bumi. Gelombang radio satelit GPS akan mengalami perlambatan (*propagation delay*) saat melewati ionosfer. Adanya perlambatan, waktu propagasi dari satelit sampai ke penerima sinyal GPS akan mendapatkan tambahan waktu yang mengakibatkan kesalahan pengukuran jarak satelit ke penerima sinyal GPS. Akibatnya, penentuan posisi GPS yang menggunakan metode reseksi jarak juga akan mengalami kesalahan pengukuran.

Salah satu penyebab perlambatan sinyal GPS di ionosfer adalah adanya elektron-elektron bebas di lapisan tersebut. Tambahan waktu penjalaran sinyal GPS bergantung pada kerapatan elektron di ionosfer. Besaran yang dapat mengindikasikan kerapatan elektron ionosfer adalah *Total Electron Content* (TEC). TEC merupakan jumlah elektron sepanjang lintasan antara dua titik (*point*) yang dinyatakan dalam satuan TECU (TEC Unit) dengan 1 TECU adalah 10^{16} elektron/m² (Buldan, 2009).

Cara mendapatkan pengukuran posisi GPS dengan presisi yang tinggi salah satunya dengan estimasi TEC ionosfer. Estimasi TEC ionosfer diperlukan untuk koreksi ionosfer terhadap penjalaran sinyal GPS sehingga didapatkan pengukuran posisi yang lebih presisi. Untuk itu, model TEC ionosfer *real-time* yang sangat akurat diperlukan untuk koreksi ionosfer terhadap penjalaran sinyal GPS. Dalam upaya pengembangan model TEC *near-real time* yang akurat telah dilakukan perbandingan model TEC ini di atas wilayah Indonesia dengan model TEC GIM (*Global Ionospheric Map*).

1.1 Model TEC *Near-real Time Regional Indonesia*

Di Indonesia, Buldan, dkk (2009) mengembangkan metode komputasi TEC harian dan jam-an mendekati *real-time* (*near-real-time*) dari data-data GPS di berbagai stasiun pengamatan GPS, seperti NTUS (Singapura), Darwin (Australia), XMIS (Australia) GUAM, PIMO, DGAR, IISC, dan KARR. Dari pengembangan komputasi TEC tersebut, diperoleh model TEC *near-real-time* regional Indonesia yang dapat diakses di web <ftp://ftp.bdg.lapan.go.id/> dengan keterlambatan sekitar 1–2 jam.

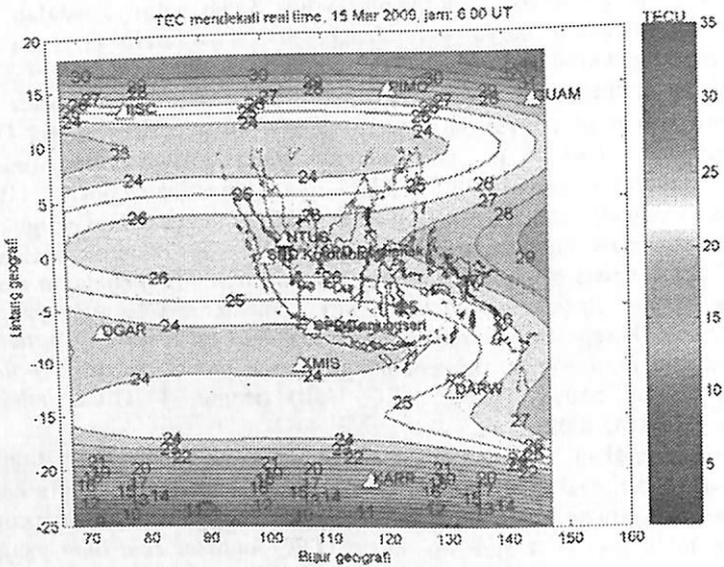
Dari data GPS di setiap stasiun, dapat diturunkan VTEC ionosfer. Kemudian, nilai VTEC ionosfer tersebut digunakan untuk memodelkan nilai VTEC di atas Indonesia dan sekitarnya dengan menggunakan persamaan (1) (Buldan, dkk., 2009).

$$VTEC(\phi, \lambda) = A + \sum_{n=1}^N B_n \phi^n + \sum_{m=1}^M C_m \lambda^m$$

(1)

dengan ϕ dan λ adalah lintang dan bujur, N adalah orde fungsi polinom dengan variabel lintang, dan

M adalah orde fungsi polinom dengan variabel bujur. (Buldan, dkk., 2009)
 Dari persamaan (1), N dan M dapat ditentukan berdasarkan kriteria rata-rata kesalahan mutlak yang terkecil antara model dan data pengamatan untuk sudut elevasi yang berbeda-beda dan pada orde yang bervariasi. Contoh model TEC *near-real-time* regional Indonesia ditunjukkan Gambar 1.1.



Sumber gambar:

ftp://ftp.bdg.lapan.go.id/Ionosfer_dan_Telekomunikasi/IONOSFER_INDONESIA/Jaman/TEC/

Gambar 1.1 Model TEC *near-real-time* Regional Indonesia yang dikembangkan oleh LAPAN

1.2 Validasi Model TEC *Near-real Time* Regional Indonesia

Kondisi kerapatan elektron ionosfer selalu berubah, di antaranya mengikuti pola harian (rotasi Bumi), musim, variasi lintang, siklus matahari, dan aktivitas matahari (Jiyo, 2007). Dikarenakan kondisi kerapatan elektron yang selalu berubah, ketepatan formulasi atau fungsi yang digunakan pemodelan TEC secara *near-real time* (terutama model fisis) sangat menentukan akurasi model tersebut. Akan tetapi, untuk model TEC empiris, jumlah data pengamatan (stasiun pengamatan) yang digunakan dapat menjadi indikasi tingkat akurasi model tersebut. Secara umum, banyaknya stasiun pengamatan yang digunakan pada model TEC empiris maka tingkat akurasinya lebih baik.

Model TEC *near-real time* regional Indonesia merupakan model TEC empiris. Selama tahun 2009, model ini menggunakan 4, 6, dan 8 stasiun pengamatan GPS. Delapan stasiun pengamatan yang digunakan model ini dapat dilihat pada Gambar 1.1. Secara teori, variasi jumlah stasiun pengamatan GPS yang digunakan dalam model ini menunjukkan tingkata akurasi yang berbeda-beda.

Untuk mengetahui tingkat akurasi model TEC near-real time regional Indonesia, model ini dapat dibandingkan dengan model TEC empiris lainnya. Salah satu model TEC empiris yang dapat digunakan untuk membandingkan model TEC ini adalah model TEC global GIM (*Global Ionospheric Map*) yang menggunakan 200 stasiun pengamatan GPS tersebar di seluruh dunia.

2. Metodologi

Metode yang telah digunakan untuk memvalidasi model TEC regional Indonesia adalah membandingkan model tersebut dengan model TEC global GIM. Perbandingannya dengan cara mencari selisih nilai TEC secara spasial, yaitu setiap bujur dan lintang. Persamaan selisih nilai TEC seperti berikut

$$\Delta\text{TEC}_{n,m} = \text{abs}(\text{TEC Model Reg}_{n,m} - \text{TEC GIM}_{n,m})$$

(2)

dengan ΔTEC adalah selisih nilai TEC;

TEC Model Reg adalah nilai TEC model regional Indonesia;

TEC GIM adalah nilai TEC model GIM; dan

n dan m adalah bujur dan lintang.

Nilai n dan m dari persamaan (2) dibatasi dari bujur 90–150° BT dan lintang 10° LU–15° LS (wilayah Indonesia) dengan selisih pengambilan titik setiap 5°. Kemudian setelah diperoleh ΔTEC dari setiap titik, dibuat peta kontur selisih TEC (ΔTEC) di atas Indonesia.

Penggunaan data-data TEC model regional Indonesia yang telah dibandingkan dengan model TEC GIM adalah data-data tahun 2009. Perbandingan antara kedua model hanya didasari pada jumlah stasiun pengamatan yang digunakan untuk memodelkan TEC regional Indonesia. Tabel 1 menunjukkan data-data model TEC regional Indonesia yang telah dibandingkan dengan model TEC GIM.

Tabel 1 Data-data Model TEC yang telah dibandingkan dengan model TEC GIM

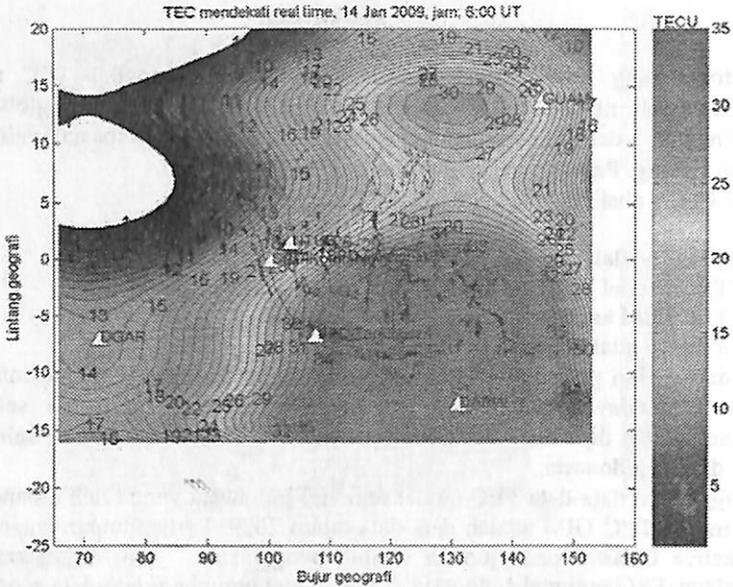
Klasifikasi	Tanggal	Jam	Jumlah Stasiun Pengamatan
Jumlah Stasiun	14 Januari 2009	06.00 UT	4
Pengamatan Sinyal	15 Januari 2009	06.00 UT	6
GPS	2 September 2009	06.00 UT	8

3. Hasil dan Analisis

Dalam pemodelan TEC regional Indonesia, jumlah stasiun pengamatan sinyal GPS yang digunakan sangat berpengaruh terhadap akurasi model tersebut. Selanjutnya, makalah ini akan memaparkan perbandingan model TEC regional Indonesia yang menggunakan 4, 6, dan 8 stasiun pengamatan terhadap model TEC GIM.

Gambar 3.1.a menunjukkan hasil pemodelan TEC regional Indonesia pada tanggal 14 Januari 2009 jam 06 UT (13.00 WIB). Hasil pemodelan tersebut menggunakan 4 stasiun penerima sinyal GPS, yaitu Darwin, NTUS, GUAM, dan DGAR. Sebagai perbandingan model tersebut, model GIM untuk jam yang sama dan wilayah Indonesia dapat dijadikan pembanding model TEC regional Indonesia

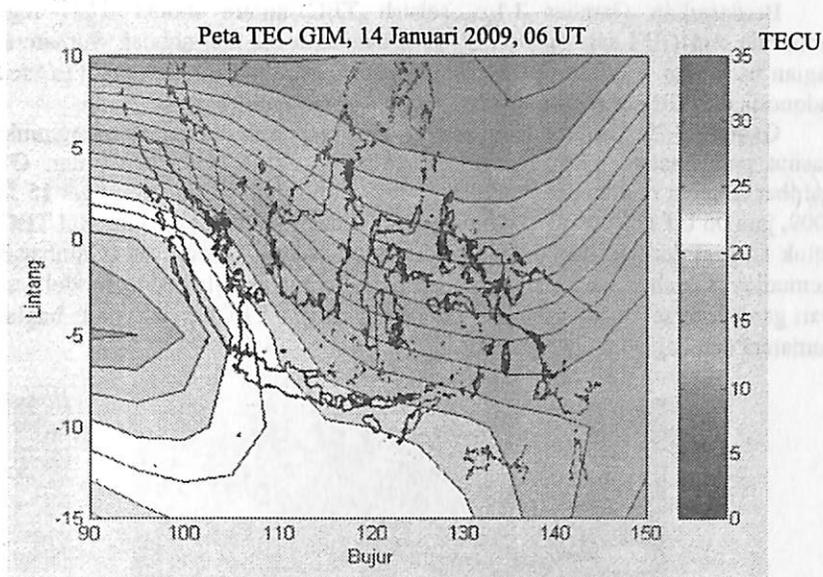
tersebut (Gambar 3.1.b). Selanjutnya, kedua model tersebut dicari selisih nilai TEC untuk lintang dan bujur yang sama sehingga diperoleh peta kontur selisih TEC kedua model tersebut. Gambar 3.1.c menunjukkan peta kontur selisih TEC kedua model tersebut. Dari gambar tersebut, perbedaan nilai TEC antara kedua model tersebut untuk wilayah Indonesia mencapai 12 TECU, yaitu pada bagian atas Sumatera.



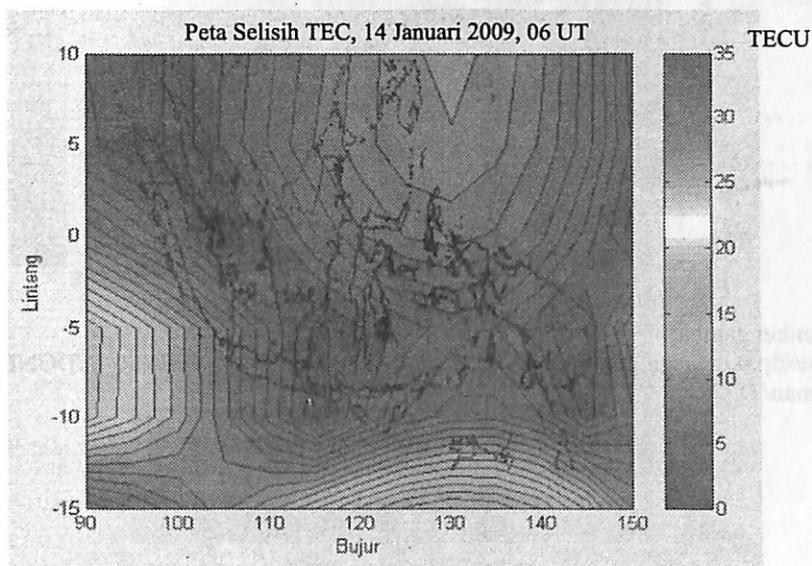
Sumber gambar:

ftp://ftp.bdg.lapan.go.id/Ionosfer_dan_Telekomunikasi/IONOSFER_INDONESIA/Jaman/TEC/

(a)



(b)

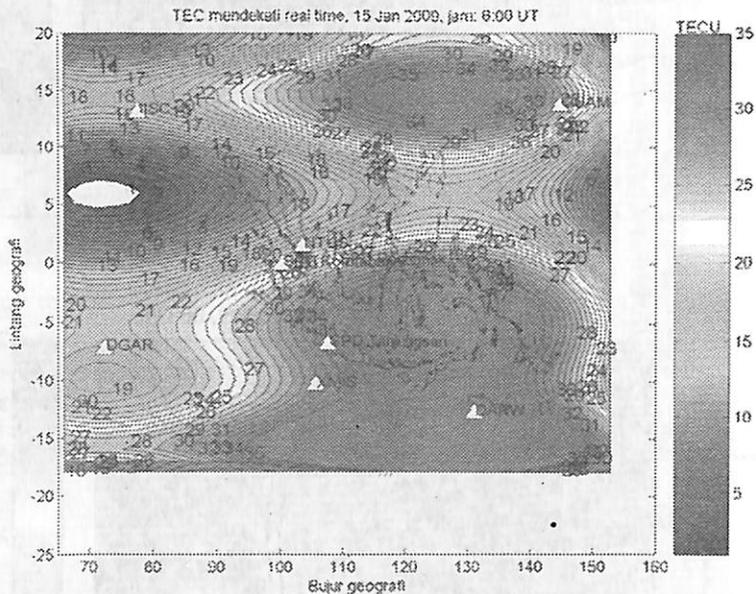


(c)

Gambar 3.1 Peta TEC tanggal 14 Jan 2009, 06 UT dari (a) model TEC regional Indonesia yang menggunakan 4 stasiun pengamatan GPS; (b) model TEC GIM untuk wilayah Indonesia; dan (c) adalah peta kontur selisih nilai TEC secara spasial dari kedua peta model TEC tersebut.

Berdasarkan Gambar 3.1.c, selisih TEC antara model TEC regional Indonesia dan GIM sekitar 10 TECU di bagian barat dan selatan Sumatera serta bagian barat dan tengah Jawa. Hal itu dapat dilihat dari kontur peta TEC regional Indonesia dan GIM. Kedua peta tersebut memiliki kontur yang berbeda.

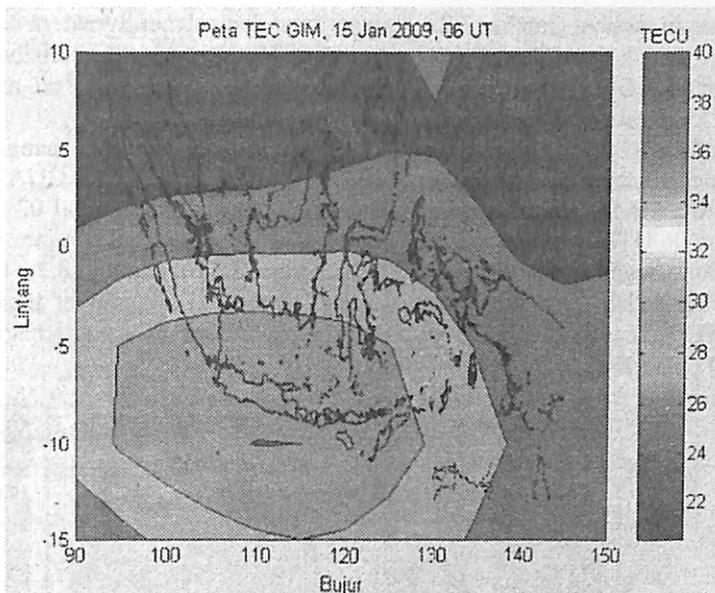
Gambar 3.2.a menunjukkan model TEC regional Indonesia menggunakan 6 stasiun pengamatan, yaitu Darwin, XMIS, DGAR, NTUS, IISC, dan GUAM. Gambar tersebut merupakan model TEC regional Indonesia pada tanggal 15 Januari 2009, jam 06 UT (13.00 WIB). Untuk memvalidasinya, digunakan model TEC GIM untuk tanggal dan jam yang sama serta untuk wilayah Indonesia (Gambar 3.2.b). Kemudian, Gambar 3.2.c menunjukkan peta kontur selisih kedua model tersebut. Dari gambar tersebut, nilai selisih TEC mencapai 10 TECU, yaitu pada bagian atas Sumatera dan bagian tengah Papua.



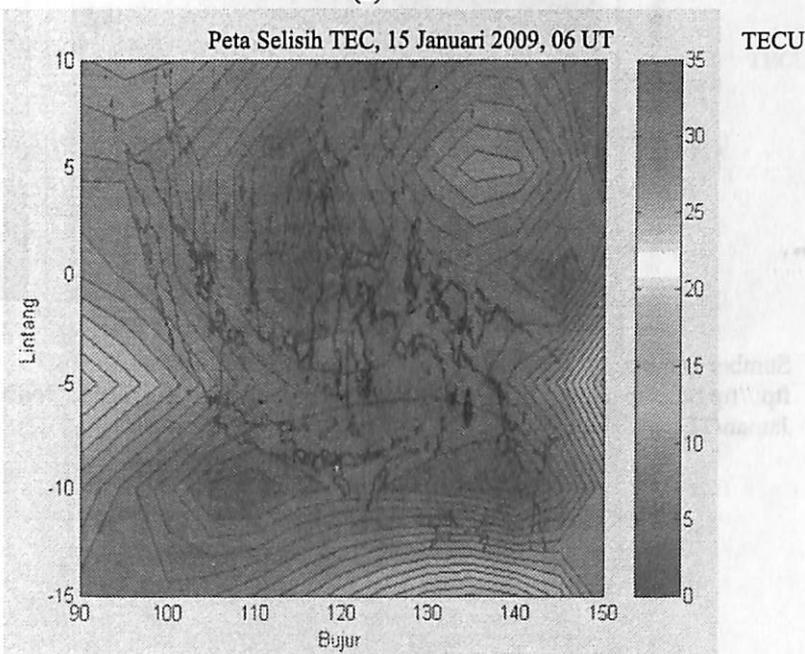
Sumber gambar:

ftp://ftp.bdg.lapan.go.id/Ionosfer_dan_Telekomunikasi/IONOSFER_INDONESIA/Jaman/TEC/

(a)



(b)

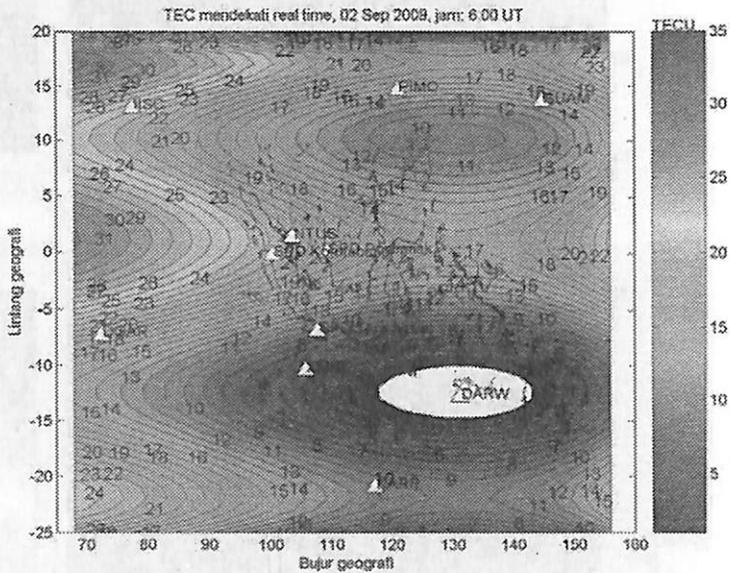


(c)

Gambar 3.2 Peta TEC tanggal 15 Jan 2009, 06 UT dari (a) model TEC regional Indonesia yang menggunakan 6 stasiun pengamatan GPS; (b) model TEC GIM untuk wilayah Indonesia; dan (c) adalah peta kontur selisih nilai TEC secara spasial dari kedua peta model TEC tersebut.

Dengan melihat Gambar 3.2.c, bagian barat dan selatan Sumatera serta bagian barat dan tengah Jawa model TEC regional Indonesia memiliki selisih 10 TECU dengan model GIM. Nilai tersebut sama dengan nilai tertinggi dari model TEC regional Indonesia dengan menggunakan 4 stasiun pengamatan.

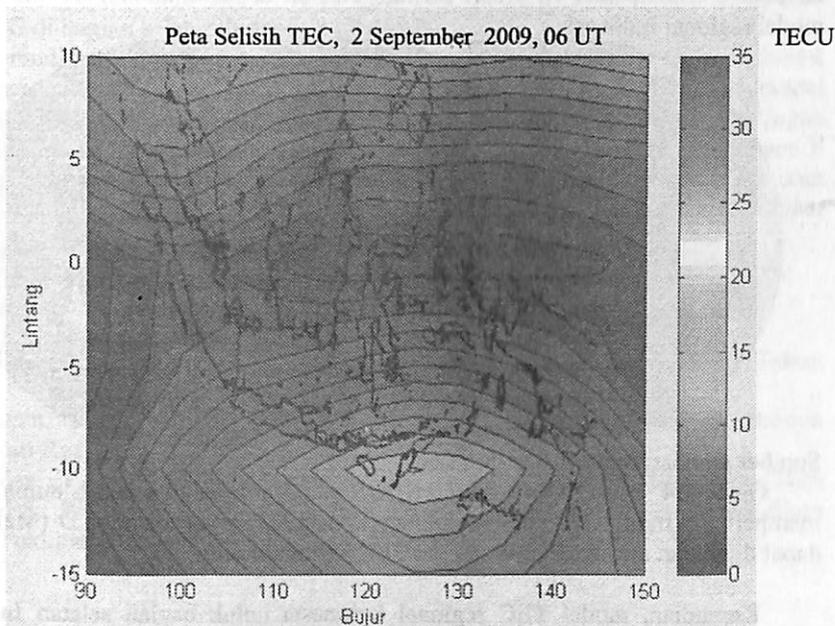
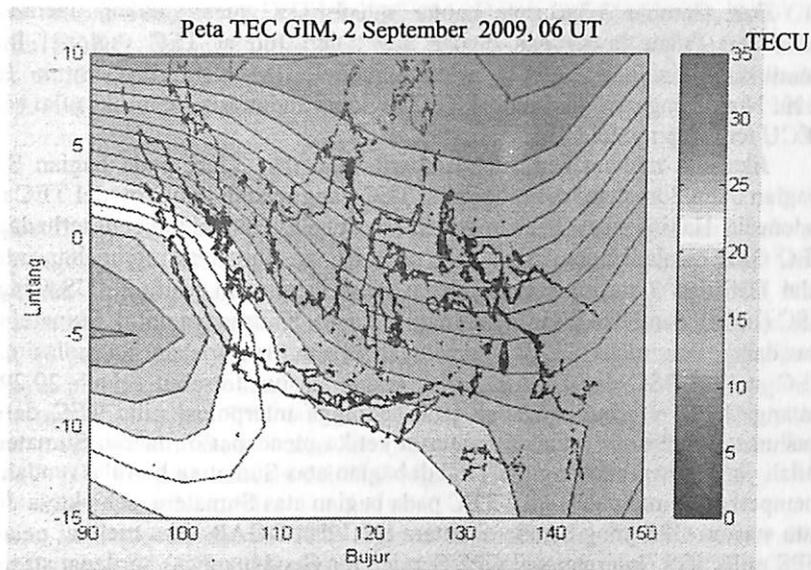
Gambar 3.3.a menunjukkan model TEC regional Indonesia menggunakan 6 stasiun pengamatan, yaitu Darwin, XMIS, DGAR, NTUS, IISC, GUAM, PIMO, dan KARR. Model TEC regional Indonesia tersebut untuk tanggal 02 September 2009, jam 06 UT. Untuk validasinya, model GIM untuk tanggal dan jam yang sama digunakan sebagai pembandingan nilai TEC (Gambar 3.3.b). Gambar 3.3.c merupakan peta kontur selisih TEC untuk kedua model tersebut. Dari gambar tersebut, nilai selisih TEC mencapai 7 TECU di bagian selatan Indonesia, seperti bagian bawah (selatan) pulau Jawa.



Sumber gambar:

ftp://ftp.bdg.lapan.go.id/Ionosfer_dan_Telekomunikasi/IONOSFER_INDONESIA/Jaman/TEC/

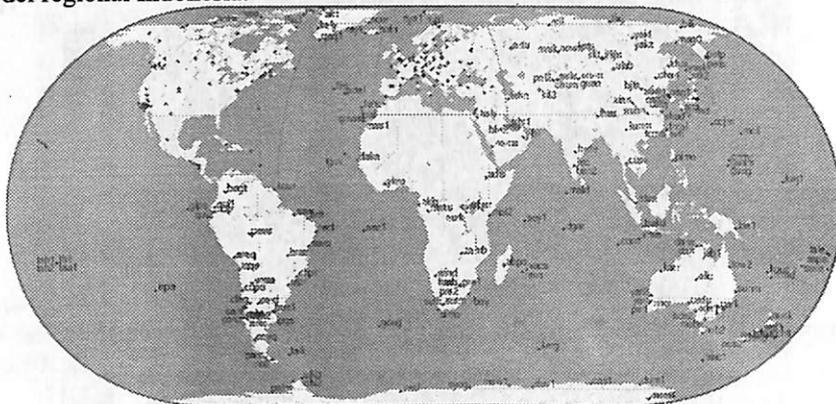
(a)



Gambar 3.3 Peta TEC tanggal 2 Sep 2009, 06 UT dari (a) model TEC regional Indonesia yang menggunakan 8 stasiun pengamatan GPS; (b) model TEC GIM untuk wilayah Indonesia; dan (c) adalah peta kontur selisih nilai TEC secara spasial dari kedua peta model TEC tersebut.

Dari Gambar 3.3.c, peta kontur selisih TEC menunjukkan daerah selatan Indonesia (Pulau Jawa) dan bagian Jawa dari model TEC regional Indonesia memiliki nilai selisih 7 TECU terhadap model GIM. Kemudian, untuk Bali dan pulau Nusa Tenggara dari model TEC regional Indonesia memiliki nilai selisih 12 TECU terhadap model GIM.

Jika kita melihat kembali Gambar 3.1.a dan 3.2.b, pada bagian Sumatera (bagian utara Sumatera) memiliki nilai TEC yang rendah untuk model TEC regional Indonesia. Hal ini menyebabkan selisih absolut TEC model tersebut terhadap model TEC GIM menjadi besar. Nilai TEC pada bagian Sumatera merupakan interpolasi nilai TEC dari 3 stasiun yang letaknya saling berjauhan, yaitu NTUS (singapura), IISC (India), dan DGAR (wilayah Inggris Raya). Khususnya untuk Sumatera bagian atas dan pesisir, nilai TEC di atas wilayah tersebut merupakan interpolasi dari nilai TEC stasiun IISC dan DGAR. Letak kedua stasiun tersebut sejauh 20,29 secara lintang. Jarak tersebut sangatlah jauh sehingga interpolasi nilai TEC dari kedua stasiun tersebut akan semakin menurun ketika mencapai di daerah Sumatera. Hal inilah yang menyebabkan nilai TEC di bagian atas Sumatera bernilai rendah. Untuk memperbaiki interpolasi nilai TEC pada bagian atas Sumatera, sebaiknya ditambah satu stasiun GPS yang berada di antara IISC dan DGAR. Jika melihat peta stasiun GPS milik IGS (International GPS Service for Geodynamics), terdapat stasiun GPS yang berada di antara IISC dan DGAR, yaitu MALD (terletak di Maladewa). Lihat Gambar 3.4. Data-data GPS dari stasiun tersebut dapat dijadikan masukan untuk model regional Indonesia.



Sumber gambar: <http://igsceb.jpl.nasa>

Gambar 4 Peta 420 stasiun GPS IGS yang tersebar di seluruh dunia. Untuk memperbaiki model TEC di atas Sumatera, data GPS stasiun MALD (Maladewa) dapat dijadikan masukan untuk model TEC regional Indonesia.

Kemudian, model TEC regional Indonesia untuk bagian selatan Indonesia juga memiliki selisih TEC yang besar terhadap model TEC GIM. Lihat kembali Gambar 3.3. Untuk bagian selatan Indonesia (Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara), model TEC di atas wilayah tersebut merupakan interpolasi dari nilai TEC stasiun DARW (Darwin) dan XMIS (Christmas Island-Australia). Kedua stasiun tersebut relatif cocok untuk interpolasi di bagian tengah dan timur

Indonesia. Untuk memperbaiki model TEC di bagian selatan Indonesia, data GPS dari stasiun BAKO (Indonesia) dan COCO (Cocos Island-Australia) dapat dijadikan masukan untuk model TEC regional Indonesia. Lihat kembali pada peta stasiun GPS milik IGS pada Gambar 4.

1. Kesimpulan dan Saran

Perbandingan model TEC regional Indonesia dengan menggunakan beberapa stasiun pengamatan GPS terhadap model TEC GIM menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Untuk penggunaan 4 dan 6 stasiun pengamatan GPS, selisih nilai TEC dari model TEC regional terhadap model TEC GIM paling besar, yaitu sekitar 10 TECU di bagian barat dan selatan Sumatera serta bagian barat dan tengah Jawa. Selanjutnya, penggunaan 8 stasiun pengamatan GPS dalam model TEC regional Indonesia memiliki selisih TEC sekitar 7 TECU terhadap model TEC GIM, yaitu pada daerah selatan Indonesia (Pulau Jawa) dan bagian Jawa, kemudian untuk Bali dan pulau Nusa Tenggara dari model TEC regional Indonesia memiliki nilai selisih 12 TECU terhadap model GIM.

Untuk peningkatan model TEC regional Indonesia, perlu memasukan data GPS dari stasiun MALD (Maladewa), BAKO (Indonesia), dan COCO (Cocos Island-Australia). Stasiun MALD dapat memperbaiki interpolasi nilai TEC di bagian atas Sumatera. Stasiun BAKO dan COCO dapat memperbaiki interpolasi nilai TEC di bagian selatan Indonesia (Pulau Jawa).

Kemudian, untuk peningkatan pengetahuan tentang metode validasi model TEC regional Indonesia, perlu dilakukan variasi metode perbandingan model tersebut terhadap model TEC GIM. Variasi tersebut dapat berupa perbandingan nilai TEC kedua model secara spasial berdasarkan perubahan kerapatan lapisan F ionosfer yang mengikuti pola harian (rotas Bumi), lintang, dan musim (pergerakan semu Matahari tahunan). Dengan demikian, tingkat akurasi ataupun kevalidan model TEC regional Indonesia dapat diketahui.

Daftar Pustaka

- Jiyo. 2007. Variasi Lapisan Ionosfer Indonesia. Publikasi Ilmiah LAPAN Tahun 2007
- M, Buldan. 2009. Pemodelan TEC Ionosfer di Atas Sumatra dan Sekitarnya Mendekati Real Time Dari Data GPS NTUS
- M, Buldan., P, Septi. 2009. Komputasi TEC Ionosfer Mendekati Real Time Dari Data GPS. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Penelitian, dan Pendidikan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 16 Mei 2009