

# **PERBANDINGAN KARAKTERISTIK AKTIVITAS SINTILASI IONOSFER DI ATAS MANADO, PONTIANAK DAN BANDUNG BERDASARKAN DATA GISTM (CHARACTERISTICS COMPARISON OF IONOSPHERIC SCINTILLATION ACTIVITIES OVER MANADO, PONTIANAK AND BANDUNG BASED ON GISTM DATA)**

**Sri Ekawati<sup>1)</sup>, Sefria Anggarani, dan Dessi Marlia**

**Pusat Sains Antariksa, LAPAN**

**<sup>1)</sup>e-mail : sri.ekawati@lapan.go.id**

**Diterima 9 Mei 2016; Disetujui 17 Januari 2017; Diterbitkan 30 Mei 2017**

## **ABSTRACT**

The characteristics of ionospheric scintillation activity in certain region need to be known since its occurrence can degrade satellite signal quality of global satellite navigation system (GNSS) and also satellite communication especially works at L-band frequency. The occurrence of ionospheric scintillation varies with location. Therefore, this paper aims to determine comparative characteristics of ionospheric scintillation activity over Manado, Pontianak and Bandung from amplitude scintillation index S4 data derived from GPS receiver. The data were obtained from the GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor (GISTM) at Manado station (1.48 N; 124.85 E, geomagnetic latitude 7.7 S), at Pontianak station (0.03 S; 109.33 E, geomagnetic latitude 9.7 S) and at Bandung (-6.90 S; 107.6 E, geomagnetic latitude 16.54 S) on July 2014 to June 2015. The data were classified into three categories: quiet, moderate and strong, based on s4 index. Then we calculated number of monthly scintillation occurrence from each observation station and mapping of S4 index over Manado, Pontianak and Bandung. The results showed that the percentage of strong scintillation ( $S4 > 0.5$ ) above Manado was always lower than the other stations. Strong scintillation detected at one stations might not be detected at other stations. For very intense scintillation event, its occurrence could be detected by all observation stations but vary in duration. Duration of strong scintillation over Bandung was the longest (up to 4 hours) compared to Pontianak (less than 2 hours) and Manado (less than 1 hour). Based on map of strong scintillation, it occurred more intensively over Java Sea.

Keywords: *Ionospheric scintillation, S4 index, GNSS*

## ABSTRAK

Karakteristik aktivitas sintilasi ionosfer di atas suatu wilayah perlu diketahui karena kemunculannya dapat menurunkan kualitas sinyal dari sistem navigasi global berbasis satelit (GNSS) dan juga komunikasi satelit khususnya yang bekerja pada frekuensi Pita-L. Kemunculan sintilasi ionosfer bervariasi terhadap lokasi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbandingan karakteristik aktivitas sintilasi ionosfer di atas Manado, Pontianak dan Bandung berdasarkan data indeks amplitudo sintilasi S4. Data diperoleh dari pengamatan menggunakan GPS *Ionospheric Scintillation and TEC Monitor* (GISTM) di Manado (1,48°LU;124,85°BT, lintang geomagnet 7,7° LS), Pontianak (0,03°LS;109,33°BT, lintang geomagnet 9,7° LS) dan Bandung (-6,90° LS; 107,60° BT, lintang geomagnet 16,54° LS). Pengamatan dilakukan dari bulan Juli 2014 hingga Juni 2015. Data harian diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu kondisi tenang, menengah dan kuat. Kemudian dihitung berapa persen kemunculan sintilasi kuat dari masing-masing stasiun pengamatan selama periode tersebut dan dilakukan pemetaan indeks S4 di atas Manado, Pontianak dan Bandung. Hasilnya menunjukkan jumlah kemunculan sintilasi kategori kuat ( $S4 > 0,5$ ) bulanan di atas Manado selalu lebih rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya. Sintilasi kuat yang terdeteksi di suatu stasiun belum tentu terdeteksi di stasiun lainnya. Untuk peristiwa sintilasi yang sangat intensif, kemunculan sintilasi dapat terdeteksi oleh semua stasiun pengamatan tetapi durasinya berbeda-beda. Durasi sintilasi kuat di atas Bandung merupakan yang paling lama (mencapai 4 jam) dibandingkan dengan Pontianak (kurang dari 2 jam) dan Manado (kurang dari 1 jam). Berdasarkan peta kemunculan sintilasi kuat, gangguan lebih intensif terjadi di daerah di atas laut Jawa.

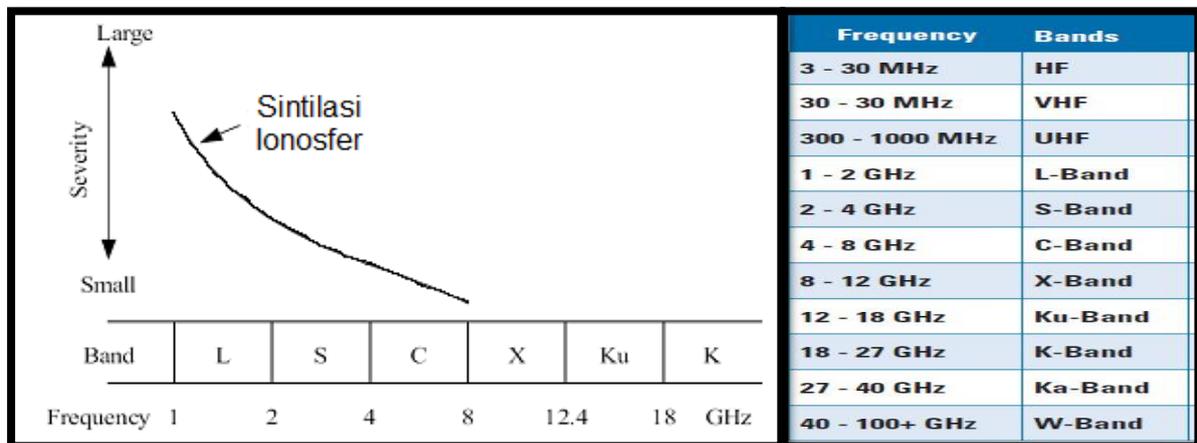
Kata kunci: *sintilasi ionosfer, indeks S4, GNSS*

### 1 PENDAHULUAN

Sintilasi ionosfer merupakan fenomena alam yang dapat menjadi bencana (*navigation/communication hazard*) bagi sistem navigasi berbasis satelit global (GNSS) dan komunikasi satelit khususnya yang bekerja pada daerah frekuensi L-band (Banerjee dkk., 1992). Gambar 1-1 menunjukkan pengaruh aktivitas sintilasi ionosfer terhadap gelombang radio pada beberapa pita frekuensi. Sumbu-x adalah frekuensi dari L-band (1 – 2 GHz), S-band (2 – 4 GHz), C-band (4 – 8 GHz), dan seterusnya. Sumbu-y adalah dampak yang ditimbulkan oleh fenomena sintilasi (*severity*). Sintilasi ionosfer akan berdampak lebih besar pada sistem *trans-ionosphere* yang menggunakan frekuensi pada daerah L-band dibandingkan dengan C-band (Theerapatpaiboon dkk., 2004).

Sistem navigasi berbasis satelit (*Global Navigation Satellite System/GNSS*) pada umumnya bekerja pada frekuensi L-band seperti yang

ditunjukkan Tabel 1-1 (Hlubek dkk.,2014). Agar bisa menembus ionosfer, maka sinyal-sinyal GNSS dimodulasikan ke gelombang pembawa pada frekuensi L-Band. Tabel 1-1 menunjukkan frekuensi gelombang pembawa yang digunakan oleh satelit GPS (**Global Positioning System**), satelit GLONASS (**Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema** dalam bahasa Rusia) dan satelit Galileo (Nama fisikawan dan ilmuwan terkemuka dari Italia) yang merupakan bagian dari GNSS (**Global Navigation Satellite System**). Satelit GPS yg merupakan GNSS milik Amerika Serikat menggunakan sinyal L1, L2 dan L5 pada rentang frekuensi L-band (1 – 2 GHz). Begitu juga dengan GLONASS dan Galileo menggunakan frekuensi di rentang L-band. Oleh karena itu GNSS dapat dipengaruhi oleh fenomena sintilasi ionosfer yang merupakan gangguan di medium plasma ionosfer (Beniguel dkk., 2009).



Gambar 1-1 : Pengaruh sintilasi ionosfer terhadap frekuensi (Theerapatpaiboon dkk., 2004)

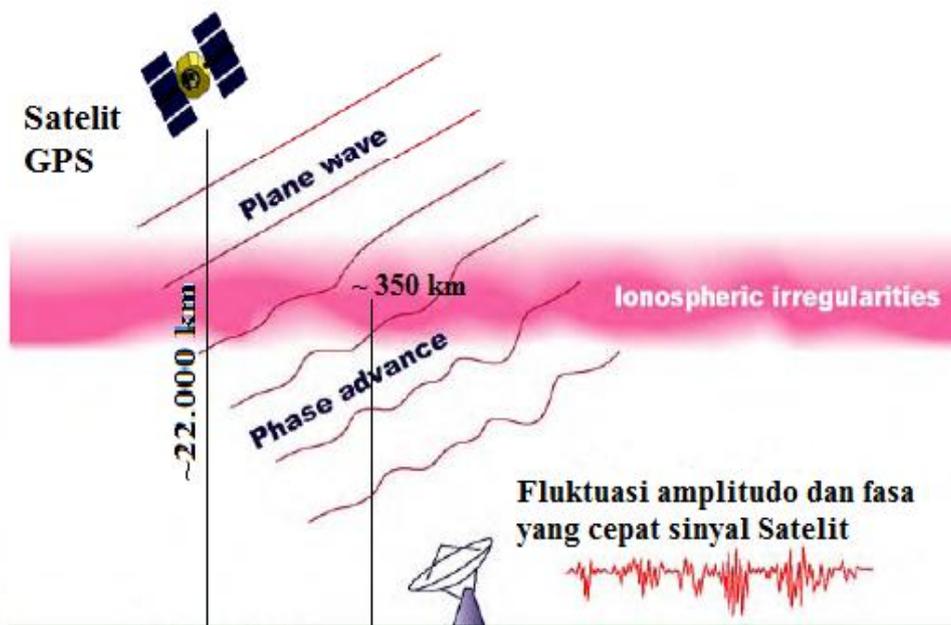
Tabel 1-1: FREKUENSI YANG DIGUNAKAN GPS, GLONASS DAN GALILEO SEBAGAI BAGIAN DARI GNSS (Hlubek dkk.,2014)

GNSS	Negara	Frekuensi (MHz)		
GPS	USA	L1 : 1575,42	L2:1227,60	L5 (I + Q): 1176,45
GLONASS	Rusia	L1:1602 + FCN 0.5625	L2:1246+FCN 0.4375	
Galileo	Eropa	E1 (B + C):1575,42		E5a(I +Q): 1176,45

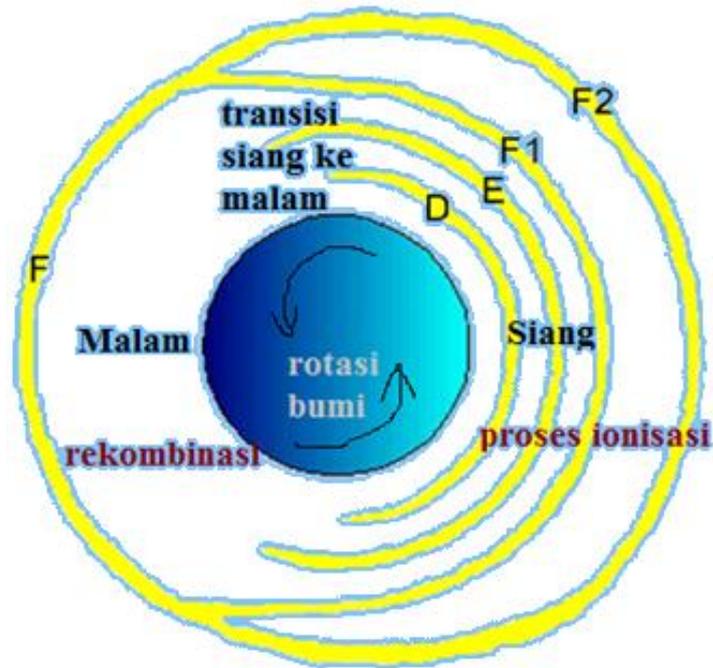
Sintilasi ionosfer merupakan gangguan sinyal satelit saat melalui medium plasma ionosfer berupa turbulensi plasma atau ketidakaturan densitas elektron sehingga mengakibatkan fluktuasi amplitudo dan fasa yang sangat cepat atau *fading amplitudo* yang sangat cepat (Jacowski dkk., 2012). Adapun ilustrasi sintilasi ionosfer ditunjukkan pada Gambar 1-2. Khusus di daerah ekuator dan lintang rendah geomagnet, kemunculan sintilasi terjadi pada saat transisi siang menuju malam atau beberapa saat setelah matahari terbenam. Pada fase tersebut terjadi perubahan proses ionisasi pada siang hari dan proses rekombinasi pada malam hari seperti yang kami ilustrasikan pada Gambar 1-3.

Kemunculan sintilasi ionosfer ini erat kaitannya dengan kemunculan *plasma bubble* di lapisan F ionosfer akibat terjadinya ketidakstabilan Rayleigh-Taylor (Ossakow, 1981; Mendillo dan Baumgardner, 1982; Ogawa dkk., 2005). Adapun mekanisme terjadinya *plasma bubble* terkait dengan

ketidakstabilan Rayleigh-Taylor. Pergerakan arus ionosfer pada umumnya ke arah atas pada siang hari dan ke arah bawah pada malam hari. Setelah matahari terbenam, medan magnet horizontal ke arah utara, arus ion-ion muatan (+) bergerak ke arah timur. Akibatnya, menghasilkan gaya ke arah atas, sehingga terjadi peningkatan *pre-reversal* (PRE) yaitu perubahan ketinggian lapisan F ionosfer secara cepat (Ossakow, 1981). Akibat terjadi pemisahan muatan (+) dan (-), maka menghasilkan gaya ke arah bawah. Ketidakstabilan plasma tersebut akan semakin berkembang sehingga menimbulkan gelembung dengan gerak ke atas yang dinamakan *plasma bubbles*. Pergerakan *plasma bubble* tersebut dapat mencapai ketinggian lebih dari 1500 km di atas ekuator geomagnet kemudian bergerak ke arah lintang rendah geomagnet bagian utara dan selatan dengan durasi kemunculannya dari beberapa menit sampai dengan beberapa jam. (Abdu dkk.,1983).



Gambar 1-2: Ilustrasi sinyal satelit GPS yang terganggu oleh fenomena sintilasi ionosfer sehingga terjadi fluktuasi amplitudo dan fasa yang cepat setelah melalui medium plasma ionosfer. (sumber: Maruyama, NICT, Japan)



Gambar 1-3: Ilustrasi lapisan Ionosfer pada siang dan malam

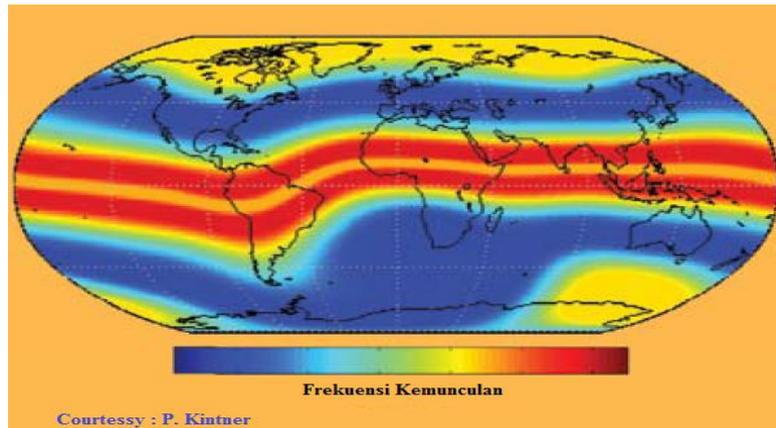
Adapun daerah kemunculan sintilasi ionosfer yang paling sering terjadi adalah di daerah sekitar  $\pm 20^\circ$  lintang geomagnet belahan bumi utara maupun selatan (Kintner dkk., 2009) seperti yang ditunjukkan peta kemunculan sintilasi ionosfer secara global (Gambar 1-4). Semakin merah warnanya menunjukkan frekuensi kemunculannya semakin tinggi dan semakin biru warnanya kemunculannya semakin rendah. Gambar 1-4 juga menunjukkan bahwa ionosfer di atas wilayah Indonesia merupakan wilayah dengan frekuensi kemunculan sintilasi ionosfer paling tinggi.

Studi tentang sintilasi ionosfer di atas Indonesia secara klimatologi dan arah pergerakannya telah dilakukan dari data indeks S4 stasiun Pontianak dan Bandung tahun 2009 - 2011 (Abadi dkk., 2014). Evolusi kemunculan sintilasi ionosfer di atas wilayah Indonesia secara spasial dan secara temporal pun telah dilakukan dari data indeks S4 Kototabang, Pontianak dan Manado tahun 2013 (Asnawi dkk., 2015). Kedua makalah tersebut melaporkan

kemunculan sintilasi terjadi pada dua puncak selama setahun.

Masalah yang dikaji pada makalah ini: pertama, seberapa besar kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat (dengan indeks S4 lebih besar dari 0,5) di atas Manado, Pontianak dan Bandung setiap bulannya dan seberapa besar perbedaan kemunculan sintilasi kategori kuat tersebut di Manado, Pontianak dan Bandung? Kedua, apakah kemunculan sintilasi ionosfer kuat dapat terdeteksi oleh semua stasiun pengamatan atau hanya terdeteksi oleh suatu stasiun pengamatan saja. Ketiga, dari segi waktu, bagaimana perbedaan kemunculan sintilasi kategori kuat dari ketiga stasiun tersebut? Dan terakhir, dimanakah kemunculan gangguan sintilasi ionosfer kuat paling sering terjadi diantara ketiga stasiun pengamatan tersebut?

Sehingga tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbandingan karakteristik aktivitas sintilasi ionosfer di atas Manado, Pontianak dan Bandung dari data indeks amplitudo sintilasi S4 yang diperoleh dari penerima GPS.



Gambar 1-4: Peta global kemunculan sintilasi ionosfer (Kintner dkk., 2009)

## 2 DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data indeks sintilasi amplitudo ( $S_4$ ) yang diperoleh dari GPS *Ionospheric Scintillation and TEC Monitor* (GISTM) yang dioperasikan di Bandung, Pontianak dan Manado. Tabel 2-1 menunjukkan posisi stasiun berdasarkan koordinat geografis (lintang dan bujur) serta lintang geomagnet.

Data yang diolah adalah Indeks  $S_4$  yang merupakan akar varian normalisasi dari intensitas sinyal satelit. Indeks  $S_4$  tidak memiliki satuan dan memiliki nilai dari 0 sampai dengan 1. GISTM mengeluarkan data indeks  $S_4$  total dan indeks  $S_4$  correction. Sehingga untuk memperoleh indeks  $S_4$  yang terkoreksi digunakan perhitungan seperti pada Persamaan 2-1 (Dubey dkk, 2006):

$$S_4 = \sqrt{S_{4total}^2 + S_{4correction}^2} \quad (2-1)$$

Berdasarkan GISM Chart (*Global Ionosphere Scintillation Model*), aktivitas sintilasi yang diindikasikan oleh indeks  $S_4$ , mempunyai kategori sebagai berikut (Butcher, 2005):

- 1) ( $S_4 \leq 0,25$ ) : *quiet*/tenang,
- 2) ( $0,25 < S_4 \leq 0,5$ ) : *moderate*/sedang,
- 3) ( $0,5 < S_4 \leq 1$ ) : *strong*/ kuat

Data indeks  $S_4$  selama satu tahun yaitu dari bulan Juli 2014 sampai dengan Juni 2015 diidentifikasi dan

diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu kondisi tenang, menengah, dan kuat. Untuk memudahkan dalam menganalisis, maka klasifikasi tersebut dilakukan dengan perbedaan warna. Aktivitas sintilasi tenang/*quiet* dengan indeks  $S_4 \leq 0,25$  diidentifikasi dengan warna hijau. Aktivitas sintilasi sedang/*moderate* dengan indeks  $0,25 < S_4 \leq 0,5$  dan durasinya lebih besar dari 10 menit diidentifikasi dengan warna kuning. Aktivitas sintilasi kuat/*strong* dengan indeks  $0,5 < S_4 \leq 1$  dan durasinya lebih dari 10 menit diidentifikasi dengan warna merah. Sedangkan warna biru artinya tidak ada data tersedia atau data tidak lengkap. Kemudian dilakukan pemilihan data sintilasi hanya kategori kuat/*strong*. Sehingga diperoleh jumlah kemunculan sintilasi kategori kuat dalam satu bulan. Dari jumlah kemunculan sintilasi kuat bulanan ini dapat diketahui aktivitas dan karakteristik sintilasi ionosfer di atas setiap stasiun secara umum.

Karena data posisi titik lintasan sinyal satelit GPS di ionosfer (berupa koordinat lintang dan bujur) tidak tersedia, maka *Ionospheric Pierce Point* (IPP) dari data sudut elevasi dan azimuth dihitung di ketinggian 350 km di atas permukaan bumi (Asnawi, 2015). Metode tersebut dilakukan untuk mengetahui posisi sintilasi ionosfer dan melakukan pemetaan sintilasi ionosfer di atas wilayah Indonesia.

Tabel 2-1: POSISI STASIUN PENERIMA GISTM

Nama Stasiun	Lintang (°)	Bujur (°)	Lintang Geomagnet (°)
Bandung	-6,90° LS	107,60° BT	16,54° LS
Pontianak	0,03° LS	109,33° BT	9,7° LS
Manado	1,48° LU	124,85° BT	7,7° LS

Tabel 2-2: KLASIFIKASI AKTIVITAS SINTILASI IONOSFER

Kategori	Warna	Indikasi	Durasi
Tenang	Hijau	$S4 \leq 0,25$	
Menengah	Kuning	$0,25 < S4 \leq 0,5$	> 10 menit
Kuat	Merah	$0,5 < S4 \leq 1$	> 10 menit
Tidak ada data	Biru	Data tidak lengkap/tidak ada data	

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3-1 menunjukkan hasil identifikasi dan klasifikasi harian kemunculan sintilasi ionosfer di atas Manado, Pontianak dan Bandung dari bulan Juli 2014 sampai dengan Juni 2015. Klasifikasi dilakukan berdasarkan indikasi indeks S4 yang ditunjukkan Tabel 2-2.

#### 3.1 Perbandingan Berdasarkan Jumlah Kemunculan Sintilasi Kuat Bulanan

Untuk mengetahui seberapa besar kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado, Pontianak dan Bandung dan seberapa besar perbedaannya, maka perhitungan jumlah banyaknya hari kemunculan sintilasi kategori kuat dalam satu bulan telah dilakukan. Hasil perhitungan jumlah kemunculan sintilasi kategori kuat di atas Manado, Pontianak dan Bandung bulanan dari bulan Juli 2014 sampai dengan Juni 2015 ditunjukkan pada Gambar 3-1. Warna biru menunjukkan data diperoleh dari stasiun Manado, warna hijau menunjukkan data diperoleh dari Pontianak dan warna merah menunjukkan data diperoleh dari stasiun Bandung. Sumbu-x menunjukkan bulan dan sumbu-y menunjukkan jumlah kemunculan sintilasi kategori kuat selama satu bulan. Selanjutnya

akan dipaparkan pembahasan berdasarkan Tabel 3-1 dan Gambar 3-1.

Pada bulan Juli 2014, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat baik di atas Manado, Pontianak maupun Bandung adalah 0. Selain itu, pada bulan Juli juga hanya terjadi kemunculan aktivitas sintilasi kategori menengah, yaitu tanggal 10 Juli 2014 dari data Manado dan Pontianak, tanggal 16 Juli 2014 dari data Pontianak namun data Manado kategori tenang, dan tanggal 28 Juli 2014 dari data Bandung namun data Pontianak kategori tenang.

Pada bulan Agustus 2014, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 4, di atas Pontianak sebesar 1, dan di atas Bandung sebesar 6. Pada periode ini, kemunculan sintilasi ionosfer di atas Bandung lebih sering terjadi dibandingkan ionosfer di atas Pontianak dan Manado. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 7, 10, 18 dan 27 Agustus 2014. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 7 Agustus 2014. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 2, 3, 6, 7, 9 dan 17 Agustus 2014.

Pada bulan September 2014, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 3,

di atas Pontianak sebesar 12 dan di atas Bandung sebesar 12. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 9, 17 dan 18 September 2014. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 3, 9, 10, 13, 15, 16, 18, 21, 22, 23, 28, dan 29 September 2014. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 8, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 27, dan 29 September 2014.

Pada bulan Oktober 2014, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 7, di atas Pontianak sebesar 6, dan di atas Bandung sebesar 6. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 1,4,8,10,12,14, dan 17 Oktober 2014. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 1, 3, 6, 8, 12, 13, dan 14 Oktober 2014. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 8,12,14,17,21 dan 31 Oktober 2014.

Pada bulan Nopember 2014, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 4, di atas Pontianak sebesar 5, dan di atas Bandung sebesar 6. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 10, 17, 18, 20 Nopember 2014. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 10, 11, 17, dan 19 Nopember 2014. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 1, 2, 6, 9, 10, dan 19 Nopember 2014.

Sedangkan pada bulan Desember 2014 dan Januari 2015, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat baik di atas Manado, Pontianak maupun Bandung adalah 0.

Pada bulan Februari 2015, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 1, di atas Pontianak sebesar 4, dan di atas Bandung sebesar 6. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 19 Februari 2015. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 15, 19, 25 dan 27 Februari 2015. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi

kuat terjadi pada tanggal 15, 16, 25, 26, 27, dan 28 Februari 2015.

Pada bulan Maret 2015, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 7, di atas Pontianak sebesar 11, dan di atas Bandung sebesar 10. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 4, 5, 11, 14, 16, 25, dan 31 Maret 2015. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 16 dan 24 Maret 2015. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 3, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 24, 25, dan 26 Maret 2015. Pada bulan April 2015, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 8, di atas Pontianak sebesar 14, dan di atas Bandung sebesar 12. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 1, 2, 3, 6, 7, 8, 14 dan 15 April 2015. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 1 – 9, 22, 25, 26, 27 dan 29 April 2015. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 1 – 9, 22, 23, dan 25 April 2015.

Pada bulan Mei 2015, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado sebesar 1, di atas Pontianak sebesar 3, dan di atas Bandung sebesar 5. Dari data Manado, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 8 Mei 2015. Dari data Pontianak, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 4, 7, dan 16 Mei 2015. Sedangkan dari data Bandung, sintilasi kuat terjadi pada tanggal 2, 4, 5, 7 dan 16 Mei 2015.

Pada bulan Juni 2015, jumlah kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat di atas Manado, Pontianak adalah 0, dan di atas Bandung sebesar 2 yang terjadi pada tanggal 2 dan 4 Juni 2015.

Berdasarkan Tabel 3-1, secara umum sintilasi kuat yang terdeteksi di Manado akan terdeteksi di Pontianak, dan di Bandung. Namun ada juga beberapa kasus sintilasi kuat terdeteksi di Manado namun tidak terdeteksi di Pontianak dan Bandung seperti pada tanggal 14 dan 15 April 2015. Sebaliknya banyak kejadian sintilasi

kuat terdeteksi di Bandung namun tidak terdeteksi baik di Pontianak dan Manado seperti pada tanggal 17 Agustus 2014, 16 Februari, 23 April, 2 Mei, 2 Juni dan 4 Juni 2015.

Berdasarkan Gambar 3-1, secara umum sintilasi banyak muncul di bulan Maret-April dan September-Oktober yang ditunjukkan ketiga stasiun yaitu saat matahari berada di sekitar ekuinoks. Dan kemunculan sintilasi kuat jarang muncul di bulan Juni-Juli dan Desember-Januari. Berdasarkan Gambar 3-1 juga, sintilasi kuat lebih banyak dideteksi oleh alat di Bandung dan Pontianak dibandingkan dengan alat yang ditempatkan di Manado. Hal tersebut ditunjukkan dengan jumlah kemunculan sintilasi kuat bulanan yang

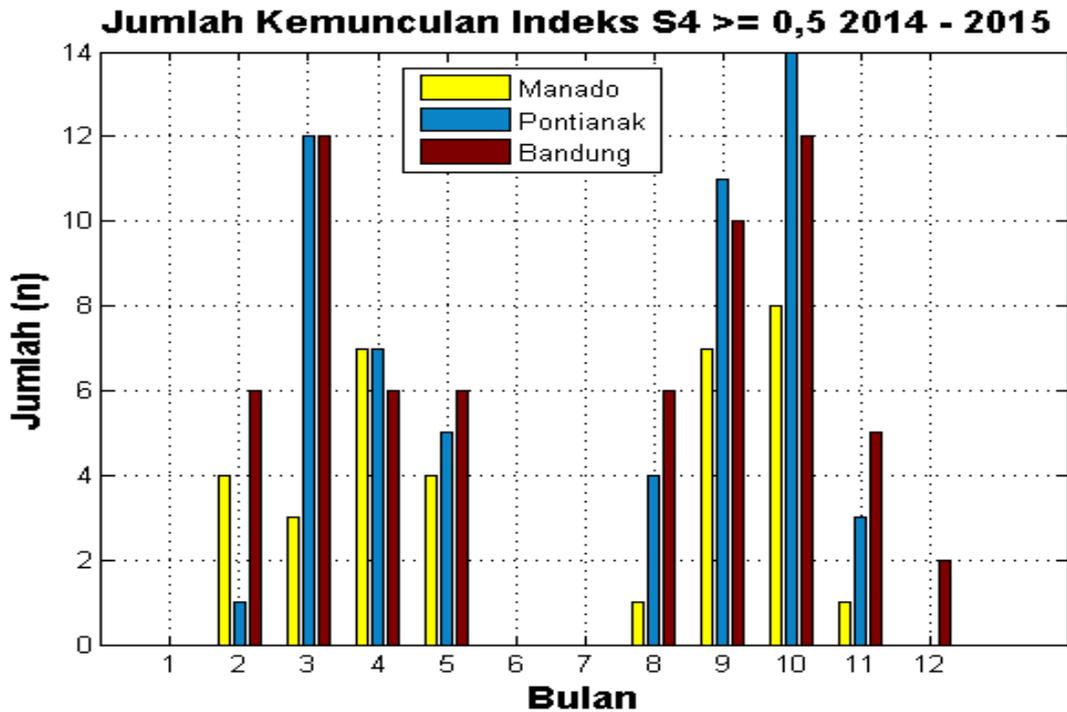
selalu lebih rendah dibandingkan dengan di Pontianak dan Bandung. Walaupun pada bulan Agustus jumlah kemunculan sintilasi kuat di Manado lebih tinggi dibandingkan dengan di Pontianak, bukan berarti di Pontianak tidak ada sintilasi kuat. Tetapi, data di Pontianak lebih banyak tidak lengkap atau data *error* yang dapat dilihat lebih terperinci di Tabel 3-1. Hasil lainnya adalah selama periode Juni 2014 – Juli 2015 kemunculan sintilasi tertinggi terjadi pada bulan September dan April yang ditunjukkan oleh stasiun pengamatan di Pontianak dan Bandung. Sedangkan berdasarkan stasiun Manado kemunculan sintilasi tertinggi terjadi pada bulan Oktober dan April.

Tabel 3-1: HASIL IDENTIFIKASI DAN KLASIFIKASI KEMUNCULAN SINTILASI IONOSFER DARI TIGA STASIUN PENGAMATAN YAITU DI MANADO, PONTIANAK DAN BANDUNG DARI BULAN JULI 2014 – JUNI 2015

Aktivitas Sintilasi		Tanggal																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
2014	Jul	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
	Ags	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
	Sep	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
	Okt	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
Nov	Manado																																				
	Pontianak																																				
	Bandung																																				
Des	Manado																																				
	Pontianak																																				
	Bandung																																				
2015	Jan	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
	Feb	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
	Mar	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
	Apr	Manado																																			
		Pontianak																																			
		Bandung																																			
Mei	Manado																																				
	Pontianak																																				
	Bandung																																				
Jun	Manado																																				
	Pontianak																																				
	Bandung																																				

Keterangan :	<span style="color: green;">■</span> : $0 < S_4 \leq 0,25$ tenang	<span style="color: yellow;">■</span> : $0,25 < S_4 \leq 0,5$ menengah	<span style="color: red;">■</span> : $0,5 < S_4 \leq 1$ kuat	<span style="color: blue;">■</span> : data tidak lengkap/no data
--------------	--	---	---	--



Gambar 3-1: Jumlah kemunculan sintilasi bulanan untuk sintilasi kategori kuat (indeks S4 ≥ 0,5) di atas Manado, Pontianak dan Bandung

### 3.2 Perbandingan Berdasarkan Waktu dan Durasi Gangguan Sintilasi

Walaupun sintilasi kategori kuat terdeteksi di ketiga tempat pengamatan, tetap memiliki perbedaan dari waktu kemunculannya dan juga durasinya. Dari Tabel 3-1, diambil contoh untuk sintilasi kategori kuat yang terdeteksi di semua stasiun pengamatan yaitu tanggal 5, 14 Maret dan 8 April 2015. Gambar 3-2, 3-3, dan 3-4 berturut-turut adalah perubahan Indeks S4 terhadap waktu (UT) dari stasiun Manado, Pontianak dan Bandung pada tanggal 5, 14 Maret, dan 8 April 2015.

Pada tanggal 5 Maret 2015, sintilasi ionosfer kategori kuat (S4>0,5) mulai muncul di atas Manado pada pukul 13:06 UT (21:00 WITA di Manado) dengan durasi 10 menit. Sintilasi kuat di atas Pontianak mulai muncul pukul 14:10 UT (21:10 WIB di Pontianak) dengan durasi 26 menit. Sedangkan sintilasi kuat di atas Bandung mulai muncul pukul 13:40 UT (20:40 WIB di Bandung) dengan durasi 4 jam.

Pada tanggal 14 Maret 2015, sintilasi ionosfer kategori kuat (S4>0,5)

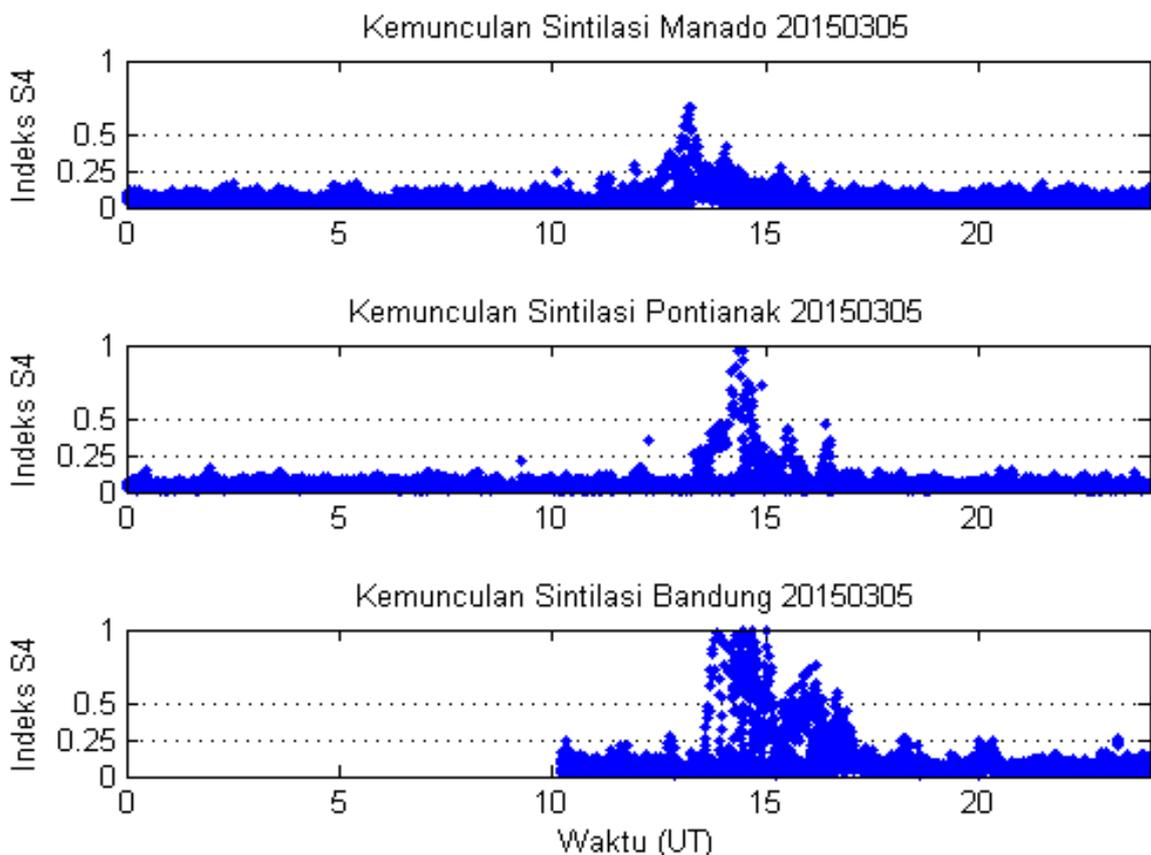
mulai muncul di atas Manado pada pukul 11:42 UT (19:42 WITA di Manado) dengan durasi total 30 menit. Sintilasi kuat di atas Pontianak mulai muncul pukul 13:22UT (20:22 WIB di Pontianak) dengan durasi 1 jam 5 menit. Sedangkan sintilasi kuat di atas Bandung mulai muncul pukul 12:02 UT (19:02 WIB di Bandung) dengan durasi total 4 jam 30 menit.

Pada tanggal 8 April 2015, sintilasi ionosfer kategori kuat (S4>0,5) mulai muncul di atas Manado pada pukul 11:24 UT (19:24 WITA di Manado) dengan durasi total 50 menit. Sintilasi kuat di atas Pontianak mulai muncul pukul 12:10 UT (19:10 WIB di Pontianak) dengan durasi 47 menit kemudian muncul kembali pada pukul 14:25 UT (21:25 WIB di Pontianak) dengan durasi 47 menit. Sedangkan sintilasi kuat di atas Bandung mulai muncul pukul 12:07 UT (19:07 WIB di Bandung) dengan durasi total 2 jam 52 menit dan muncul kembali pada pukul 15:28 UT (22:28 WIB di Bandung) dengan durasi 37 menit. Pada Gambar 3-2, 3-3 dan 3-4, kemunculan sintilasi

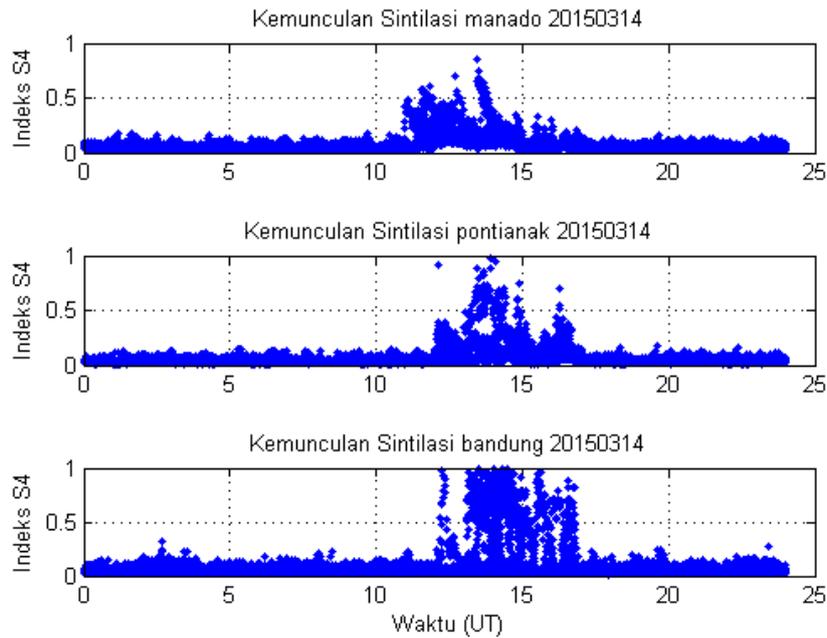
lebih dahulu terdeteksi oleh alat di Manado, kemudian Pontianak selanjutnya Bandung. Hal tersebut karena ionosfer di Manado lebih dahulu mengalami pergantian siang ke malam dan gangguan ketidakstabilan ionosfer mulai terjadi di Manado. Sedangkan kemunculan sintilasi di Pontianak dan Bandung hampir sama karena memiliki waktu pergantian siang ke malam yang hampir sama. Hal tersebut menunjukkan waktu kemunculan sintilasi ionosfer di atas wilayah Indonesia adalah beberapa saat setelah matahari terbenam.

Selain itu, durasi gangguan kemunculan sintilasi di atas Bandung

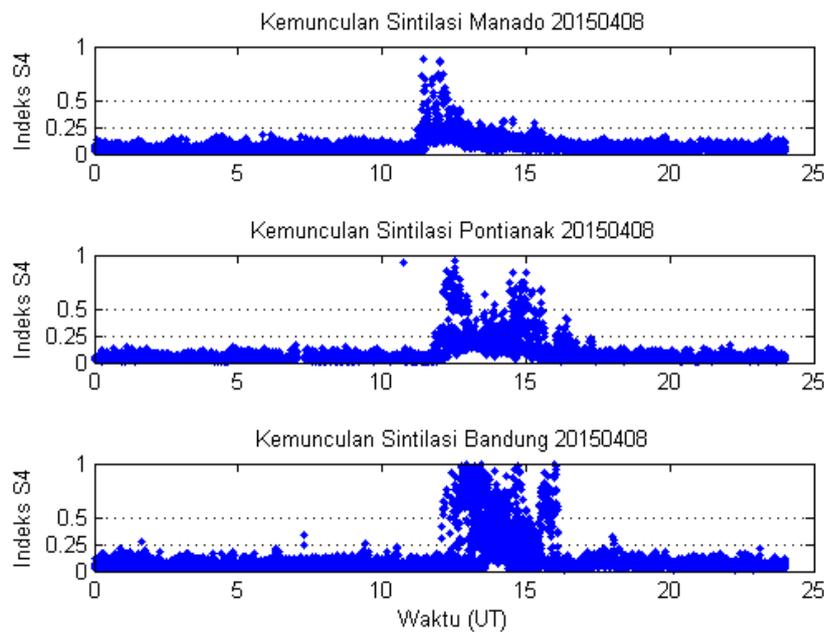
lebih lama dibandingkan dengan durasi gangguan di Pontianak ataupun Manado. Durasi gangguan di atas Bandung dapat mencapai 4 jam namun di atas Manado hanya puluhan menit saja. Hal tersebut karena gangguan ketidakaturan ionosfer atau turbulensi ionosfer lebih besar berada di atas Bandung dibandingkan Pontianak dan Manado. Ini menunjukkan kemunculan sintilasi ionosfer memiliki variasi lintang. Disebabkan gangguan *plasma bubbles* yang mulai terbentuk di ekuator geomagnet bergerak dan tumbuh ke arah lintang rendah geomagnet (Ogawa dkk., 2005).



Gambar 3-2: Aktivitas sintilasi ionosfer di atas Manado, Pontianak dan Bandung pada tanggal 5 Maret 2015



Gambar 3-3: Aktivitas sintilasi ionosfer di atas Manado, Pontianak dan Bandung pada tanggal 14 Maret 2015.



Gambar 3-4: Aktivitas sintilasi ionosfer di atas Manado, Pontianak dan Bandung pada tanggal 8 April 2015

### 3.3 Perbandingan Berdasarkan Daerah Gangguan Sintilasi

Untuk mengetahui daerah gangguan sintilasi, maka dilakukan pemetaan indeks S4 di atas daerah Manado yang ditunjukkan Gambar 3-5, daerah Pontianak yang ditunjukkan Gambar 3-6 dan daerah Bandung yang ditunjukkan Gambar 3-7. Dari peta

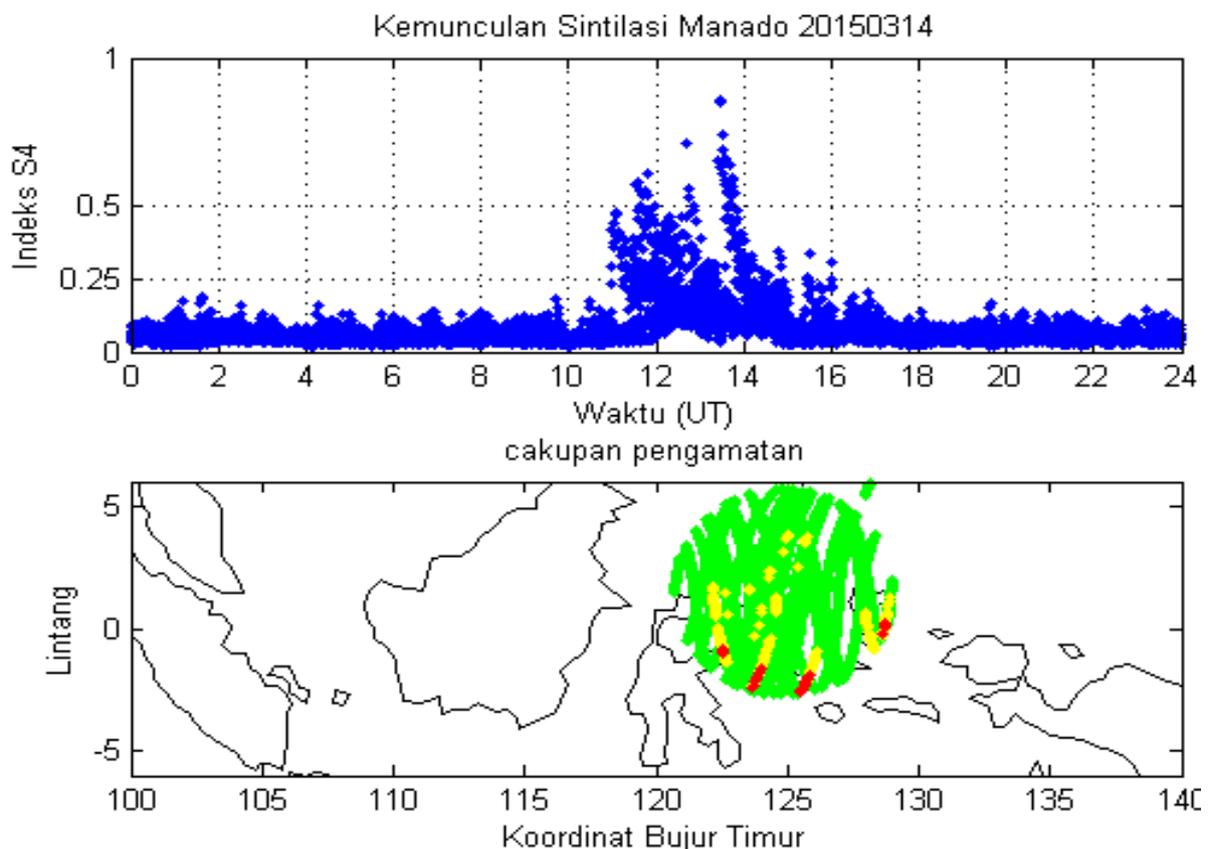
tersebut dapat diperoleh informasi daerah gangguan sintilasi ionosfer.

Gambar 3-5 menunjukkan aktivitas sintilasi ionosfer pada tanggal 14 Maret 2015 yang diperoleh dari GISTM Manado. Panel bawah menunjukkan daerah cakupan pengamatan ionosfer dan peta sintilasi ionosfer selama 24 jam. Dari peta

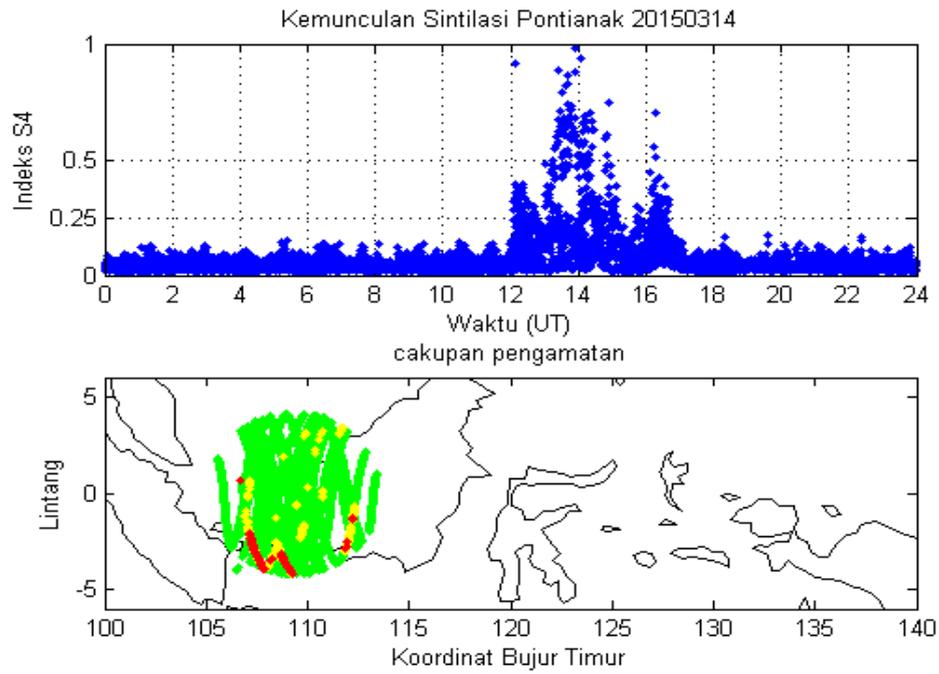
tersebut terlihat daerah gangguan sintilasi yang berwarna merah yaitu di daerah selatan cakupan pengamatan Manado. Gambar 3-6 menunjukkan aktivitas sintilasi ionosfer pada tanggal 14 Maret 2015 yang diperoleh dari GISTM Pontianak. Panel bawah menunjukkan daerah cakupan pengamatan ionosfer dan peta sintilasi ionosfer selama 24 jam. Dari peta tersebut terlihat daerah gangguan sintilasi yang berwarna merah yaitu di daerah selatan cakupan pengamatan Pontianak. Sedangkan Gambar 3-7 menunjukkan aktivitas sintilasi ionosfer pada tanggal 14 Maret 2015 yang diperoleh dari GISTM Bandung. Panel bawah menunjukkan daerah cakupan pengamatan ionosfer dan peta sintilasi

ionosfer selama 24 jam. Dari peta tersebut terlihat daerah gangguan sintilasi yang berwarna merah yaitu hampir melingkupi semua daerah cakupan pengamatan lebih intensif ke arah Utara cakupan pengamatan di atas Bandung.

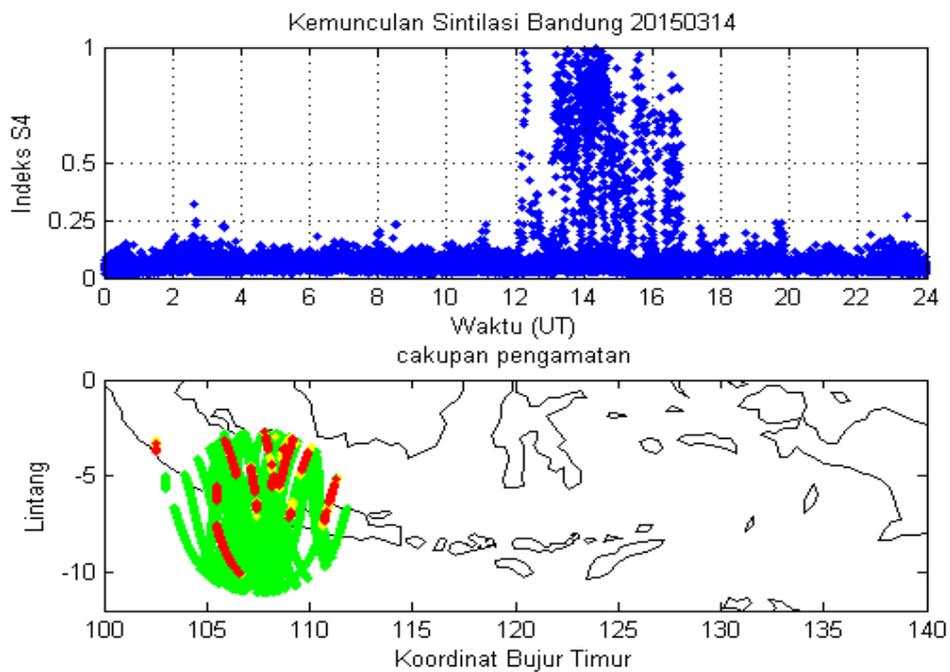
Bila peta sintilasi dari Manado, Pontianak dan Bandung digabungkan maka diperoleh peta distribusi daerah aktivitas sintilasi ionosfer. Gambar 3-8 menunjukkan peta sintilasi ionosfer pada tanggal 14 Maret 2015 pada pukul 10:00 - 18:00 UT. Sumbu-x menunjukkan koordinat bujur, sumbu-y menunjukkan koordinat lintang dan warna menunjukkan indeks S4 dari 0 sampai dengan 1. Semakin berwarna merah, nilai indeks S4 semakin kuat.



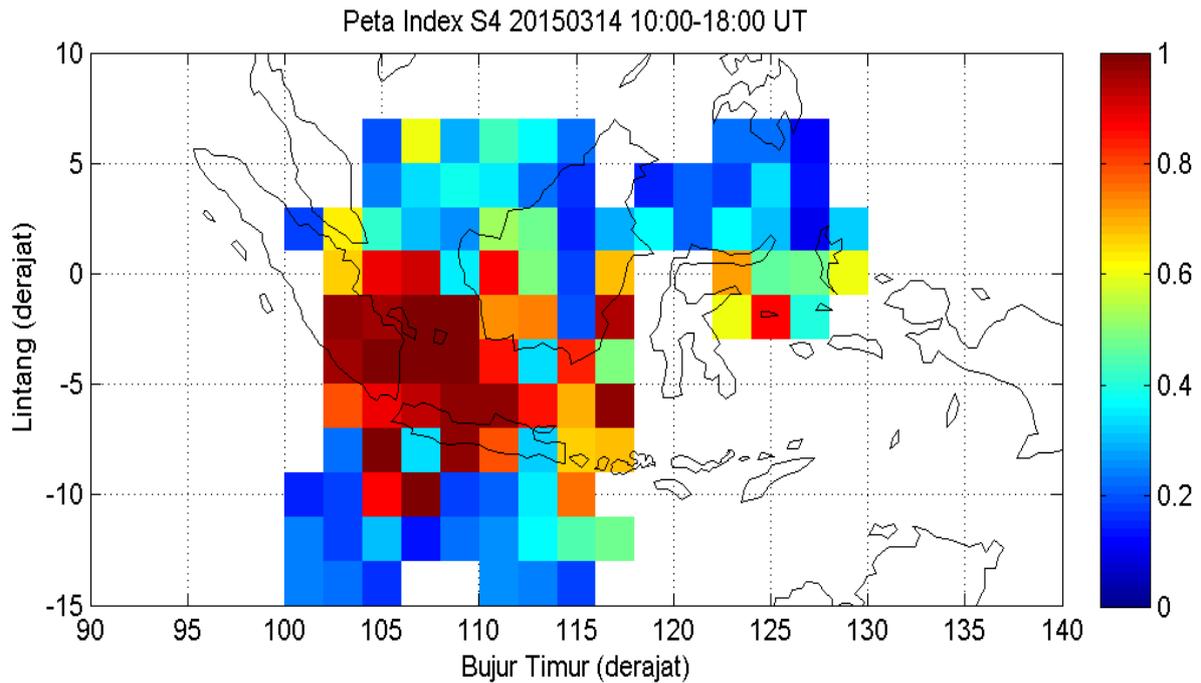
Gambar 3-5: Aktivitas sintilasi ionosfer di atas Manado pada tanggal 14 Maret 2015 selama 24 jam. Panel atas menunjukkan indeks S4 dan panel bawah menunjukkan daerah kemunculan aktivitas sintilasi dengan warna hijau, kuning dan merah berturut-turut untuk kategori tenang, menengah dan kuat



Gambar 3-6: Aktivitas sintilasi ionosfer di atas Pontianak pada tanggal 14 Maret 2015 selama 24 jam. Panel atas menunjukkan indeks S4 dan panel bawah menunjukkan daerah kemunculan aktivitas sintilasi dengan warna hijau, kuning dan merah berturut-turut untuk kategori tenang, menengah dan kuat



Gambar 3-7: Aktivitas sintilasi ionosfer di atas Bandung pada tanggal 14 Maret 2015 selama 24 jam. Panel atas menunjukkan indeks S4 dan panel bawah menunjukkan daerah kemunculan aktivitas sintilasi dengan warna hijau, kuning dan merah berturut-turut untuk kategori tenang, menengah dan kuat



Gambar 3-8: Peta aktivitas sintilasi ionosfer di atas wilayah Indonesia pada tanggal 14 Maret 2015 dengan resolusi  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$  dari data indeks S4 yang diperoleh dari tiga stasiun yaitu Manado, Pontianak dan Bandung

Gambar 3-8 merupakan peta distribusi aktivitas sintilasi ionosfer yang diperoleh dari data indeks S4 yang mewakili daerah dengan kotak  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ . Artinya, setiap kotak mewakili daerah  $2^{\circ}$  bujur dan  $2^{\circ}$  lintang. Dari peta tersebut terlihat distribusi gangguan sintilasi ionosfer lebih intensif di atas daerah laut Jawa. Artinya sinyal satelit yang melalui ionosfer di daerah sekitar laut Jawa akan lebih mengalami gangguan dibandingkan ketika sinyal satelit melalui daerah di atas Kalimantan Timur atau di Utara Manado. Dengan diperoleh peta distribusi kemunculan sintilasi ionosfer, diperoleh juga informasi kemunculan sintilasi ionosfer mempunyai variasi lintang dengan intensitas gangguan sintilasi kategori kuat berada di daerah sepanjang garis  $-4^{\circ}$  LS (sekitar  $-15^{\circ}$  LS, lintang geomagnet) hingga  $-7^{\circ}$  LS (sekitar  $-17^{\circ}$  LS lintang geomagnet). Daerah tersebut merupakan daerah dengan konsentrasi plasma yang tinggi (*crest*) of *Equatorial Ionization Anomaly (EIA)*.

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan jumlah kemunculan bulanan, kemunculan sintilasi ionosfer kategori kuat lebih intensif terjadi di atas Bandung dan Pontianak dibandingkan dengan Manado. Umumnya, sintilasi kuat terdeteksi di atas Bandung, namun di Pontianak dan Manado tidak terdeteksi adanya sintilasi kuat. Sebaliknya ada beberapa kasus sintilasi kuat terdeteksi di atas Manado, namun tidak ditunjukkan oleh alat di Pontianak dan Bandung.

Sintilasi kuat akan terdeteksi lebih dahulu di atas Manado dibandingkan dengan Pontianak dan Bandung. Hal tersebut karena Manado merupakan daerah yang lebih Timur sehingga lebih dahulu mengalami fase perubahan siang ke malam.

Dari segi durasinya, sintilasi kuat di atas Bandung menunjukkan gangguan lebih lama (mencapai 4 jam) dibandingkan dengan durasi kemunculan sintilasi kuat di atas

Pontianak dan Manado. Bahkan pada beberapa kasus durasi kemunculan sintilasi di atas Manado beberapa puluh menit sementara di Pontianak mencapai lebih dari satu jam dan di Bandung mencapai lebih dari 4 jam.

Berdasarkan peta distribusi indeks S4 di atas wilayah Indonesia, kemunculan sintilasi ionosfer memiliki variasi lintang dan akan intensif di sekitar daerah sepanjang garis lintang -15° LS hingga -17° LS lintang geomagnet.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim jaringan LAPAN, serta tim BPD Pontianak dan Manado atas ketersediaan data ionosfer. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pak Asnawi Husin, sebagai Kepala Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi tahun 2015, yang telah memberikan ide dan akses memperoleh data, kepada Annis S. Mardiani dan C.P. Gustiniawati atas bantuannya mengolah data indeks S4, kepada Noersomadi atas bantuannya dalam pembuatan program peta.

### DAFTAR RUJUKAN

Abadi, P., S., Saito, and W., Srigutomo, 2014. *Low-latitude scintillation occurrences around the equatorial anomaly crest over Indonesia*. Ann. Geophys, 32, 7–17, doi:10.5194/angeo-32-7-2014.

Abdu, M. A., R. T., de Medeiros, J. H. A., Sobral, and J. A., Bittencourt, 1983. *Spread F plasma bubble vertical rise velocities determined from spaced ionosonde observations*. J. Geophys. Res., 88, 9197–9204, doi:10.1029/JA088iA11 p09197, 1983.

Asnawi, P., Abadi, S., Ekawati, dan D., Marlia, 2015. *Analisis Spasial Kemunculan Sintilasi Ionosfer Kuat Bulan Ekuinoks Periode 2013 di Indonesia*. Jurnal Sains Dirgantara Vol.12 No.2 Juni 2015:77-86.

Banerjee, P. K., R. S., Dabas, and B. M. C., Reddy, 1992. *C and L Band Transionospheric Scintillation Experiment: Some Results for Applications to Satellite Radio Systems*, Radio Sci., 27, 955–969, doi: 10.1029/ 92RS01307, 1992.

Beniguel, Y., V., Romano, L., Alfonsi, M., Aquino, A., Bourdillon, P., Cannon, G., De Franceschi, S., Dubey, B., Forte, V., Gherm, N., Jakowski, M., Materassi, T., oackPozoga, M., Rogers, N., Spalla, P., Strangeways, H. J. E., Warrington., M., Wernik, A., Wilken, V., and N., Zernov, 2009. *Ionospheric Scintillation Monitoring and Modelling*. Annals of Geophysics, vol. 52, N.3/4, June/August 2009.

Butcher, N., 2005. *Daily Ionospheric Forecasting Service (DIFS) III*, Annales of Geophysicae, 23:3591-3598. 2005.

Dubey, S., R. Wahi, and A. K. Gwal, 2006. *Ionospheric Effects on GPS Positioning*. Adv. Space Res., 38(11), 2478–2484, doi: 10.1016/ j.asr.2005.07.030, 2006.

Hlubek, Nikolai, J., Berdermann, V., Wilken, N., Jakowski, M., Wassae, and B., Damtie, 2014. *Scintillations of GPS, GLONASS, and Galileo signals at equatorial latitude*. Journal of Space Weather Space Clim. 4 (2014) A22, DOI: 10.1051/swsc/2014020.

Jacowski, Norbert, Y., Béniguel, G., D., Franceschi, M., H., Pajares, K., S., Jacobsen, I., Stanislawska, L., Tomasik, R., Wamant, and G., Wautelet, 2012. *Monitoring, Tracking and Forecasting Ionospheric Perturbations Using GNSS Techniques*. Journal of Space Weather Space Clim. 2 (2012) A22, DOI: 10.1051/swsc/2012022.

Kintner, P., M., JR., T., Humphreys, J., Hinks, 2009. *GNSS and Ionospheric Scintillation: How to Survive the Next Solar Maximum*. Inside GNSS July/August 2009.

Mendillo, M., and J., Baumgardner, 1982. *Airglow characteristics of equatorial plasma depletions*. J. Geophys. Res., 87, 7641–7652, 1982.

Ogawa, T., E., Sagawa, Y., Otsuka, K., Shiokawa, T. I., Immel, S. B., Mende, and P., Wilkinson, 2005. *Simultaneous Ground- and Satellite-Based Airglow Observations of Geomagnetic Conjugate Plasma Bubbles in the Equatorial Anomaly*. Earth Planet Space, 57, 385–392, 2005.

Ossakow, S. L., 1981. *Spread-F Theories: A Review*. J. Atmos. Terr. Phys., 43, 437–452, doi:10.1016/0021-9169(81)90107-0, 1981.

Theerapatpaiboon, P., S. Sukkaewthanom, N., Leelarui and N. Hemmakorn, 2004. *The study of Scintillation on C-band Low Elevation Angle at Sri-Racha Satellite Earth Station*. ICCAS 2004.