

ISSN 2086-5589



VOL. 2 NO.6 / DESEMBER 2011

megAsains

BULETIN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, KUALITAS UDARA, GEOFISIKA, DAN LINGKUNGAN

4 4 4 EDISI KHUSUS 2011



MEGASAINS © 2011
Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang
Telp. (0752) 7446089 / Fax. (0752) 7446449
e-mail: stasaw.kototabang@bmk.go.id

ISSN 2086-5589



9 772086 558003



BMKG

STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL BUKIT KOTOTABANG
BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA

megAsains

Buletin Meteorologi, Klimatologi, Kualitas Udara, Geofisika, dan Lingkungan

Vol. 2 No. 6 Desember 2011 - Edisi Khusus 2011

Diterbitkan Oleh :

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Jl. Raya Bukittinggi-Medan Km.17 Palupuh Sumatera Barat

SUSUNAN REDAKSI

PENANGGUNG JAWAB

Drs. Herizal, M.Si.

EDITOR

Dra. Nurhayati, M.Sc

Dr. Edvin Aldrian, B.Eng, M.Sc

Dr. Ir Dodo Gunawan, DEA

Dr. Wandono

Dr. Hamdi Rivai

REDAKTUR

Sugeng Nugroho, M.Si.

REDAKTUR PELAKSANA

Agusta Kurniawan, M.Si

Alberth Christian Nahas, S.Si

Carles Siregar, ST

Yosfi Andri, ST

DESIGN LAYOUT

Asep Firman Ilahi, Ah. MG

Aulia Rinadi, Ah. MG

SEKRETARIAT

Irwin. A

Darmadi, A. Md

Yosi Juita, A. Md

MEGASAINS

Megasains merupakan buletin yang diterbitkan oleh Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit kototabang sebagai media penuangan karya ilmiah yang bersumber dari kegiatan penelitian berbasis ilmu-ilmu meteorologi, klimatologi, kualitas udara, dan geofisika (MKKuG), serta lingkungan.

Dewan redaksi membuka kesempatan bagi para pakar ataupun praktisi untuk dapat mengirimkan karya ilmiah, terutama yang berkaitan dengan tema MKKuG dan lingkungan.

Naskah karya tulis yang dikirimkan hendalnya asli dan belum pernah dipublikasikan. Naskah diketik menggunakan aplikasi MS Word dengan ketentuan panjang naskah antara 5 sampai 15 halaman ukuran A4; batas kiri 4 cm, kanan 3,17 cm, atas dan bawah 2,54 cm; satu kolom; font Arial; judul ditulis menggunakan font 12 pts, rata tengah, spasi tunggal, huruf kapital, dan cetak tebal; isi ditulis menggunakan font 10 pts, rata kiri-kanan, dan spasi tunggal; tulisan disertai dengan abstrak 1 alinea, ditulis dengan font 10 pts, cetak miring, spasi tunggal, dan disertai 2-5 kata kunci.

Redaksi berhak mengubah isi naskah sepanjang tidak mengubah substansinya. Isi naskah adalah sepenuhnya tanggung jawab penulis. Pemilihan naskah yang laik cetak adalah sepenuhnya hak redaksi.

Softcopy naskah dikirimkan ke

Alamat Redaksi:

PO BOX 11 Bukittinggi 26100

e-mail: stagaw.kototabang@bmg.go.id

Dari Redaksi

Pembaca yang kami banggakan,

Puji dan Syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang dapat kembali menerbitkan Buletin MEGASAINS.

Buletin MEGASAINS edisi kali ini, khusus berisikan ulasan dari hasil analisis terhadap fenomena-fenomena alam yang berkaitan dengan meteorologi, klimatologi, kualitas udara dan lingkungan yang terjadi selama tahun 2011. Fenomena alam yang terpilih untuk dijadikan bahan ulasan pada Buletin MEGASAINS Edisi Khusus Tahun 2011 antara lain mengenai kondisi kualitas udara Bukit Kototabang selama tahun 2011 hubungannya dengan terjadinya semburan abu vulkanik Gunung Marapi dan banyaknya titik api di Pulau Sumatera karena berkurangnya jumlah curah hujan selama pertengahan tahun 2011. Selain mengenai kualitas udara juga dibahas tentang terjadinya banjir di wilayah Kabupaten Pesisir Selatan dan munculnya fenomena badai matahari (*solar flare*) dan dampaknya terhadap pengukuran radiasi matahari di Bukit Kototabang. Diharapkan, ulasan ini dapat memberikan gambaran sekaligus memberikan informasi kepada masyarakat pembaca mengenai fenomena-fenomena alam tersebut.

Dengan ditunjang oleh semangat dari seluruh staf Stasiun GAW Bukit Kototabang di dalam dukungannya terhadap kesinambungan penerbitan MEGASAINS, Redaksi tentu sangat berharap hasil ulasan dan analisa terhadap terjadinya fenomena-fenomena alam tersebut akan mendorong terciptanya peningkatan pelayanan informasi MKKuG di masa yang akan datang. Disamping itu, diharapkan akan munculnya semangat membangun kehidupan yang lebih baik berdampingan dengan alam dan kesadaran akan kecintaan terhadap lingkungan.

Tak ada gading yang tak retak, demikian pula kiranya terbitan MEGASAINS ini yang masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Redaksi sangat berharap saran dan masukan yang membangun demi kesempurnaan MEGASAINS di kemudian hari.

Akhirnya, Redaksi mengucapkan selamat membaca dan semoga bermanfaat.

Bukit Kototabang, Desember 2011

Daftar Isi

	halaman
Susunan Redaksi	iii
Dari Redaksi	iv
Daftar Isi	v
PENGAMATAN PENGARUH LETUSAN ABU VULKANIK GUNUNG MARAPI DI SUMATERA BARAT AWAL BULAN OKTOBER 2011 TERHADAP PENGUKURAN DEPOSISI ASAM DI STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL BUKIT KOTOTABANG <i>Agusta Kurniawan</i>	1 - 18
ANALISIS HUJAN LEBAT DI WILAYAH PESISIR SELATAN DENGAN MENGGUNAKAN DATA GSMaP_NRT (Studi Kasus Hujan Lebat, Tgl 02-03 Nopember 2011) <i>Sugeng Nugroho</i>	19 - 30
KONDISI KUALITAS UDARA BUKIT KOTOTABANG TAHUN 2011 <i>Alberth Christian Nahas dan Sugeng Nugroho</i>	31 - 44
EFEK KEBAKARAN HUTAN TERHADAP KUALITAS UDARA DARI PERSPEKTIF OZON PERMUKAAN DAN KARBON MONOKSIDA YANG TERUKUR PADA BULAN AGUSTUS, SEPTEMBER DAN OKTOBER 2011 DI BUKIT KOTOTABANG <i>Asep Firman Ilahi</i>	45 - 54
DAMPAK BADAI MATAHARI PADA PENERIMAAN RADIASI MATAHARI DI BUKIT KOTOTABANG <i>Herizal</i>	55 - 63

PENGAMATAN PENGARUH LETUSAN ABU VULKANIK GUNUNG MARAPI DI SUMATERA BARAT AWAL BULAN OKTOBER 2011 TERHADAP PENGUKURAN DEPOSISI ASAM DI STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL BUKIT KOTOTABANG

Agusta Kurniawan

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

ABSTRAK

Telah dilakukan pengamatan pengaruh letusan abu vulkanik Gunung Marapi awal bulan Oktober 2011 terhadap pengukuran deposisi asam di SPAG Bukit Kototabang. Deposisi asam sendiri terbagi menjadi deposisi kering dan deposisi basah. Parameter deposisi kering meliputi gas dan partikel (aerosol). Parameter gas yang diamati adalah SO_2 dan NO_2 , sedangkan untuk parameter partikel atau aerosol yang diamati adalah PM_{10} (*Particulate Matter 10*) dan berat SPM (*Suspended Particulate Matter*), sedangkan parameter deposisi basah meliputi tingkat keasaman (pH) dan daya hantar listrik air hujan. Sebagai data sampel (data setelah Gunung Marapi meletus) digunakan data rata-rata harian 1-10 Oktober 2011, dan sebagai data pembanding yaitu data rata-rata harian sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi, yaitu data harian bulan September 2011. Model *Hysplit Volcanic Ash Model* dari NOAA digunakan untuk memperkirakan arah letusan Gunung Marapi. Hasil analisis data-data sampel terhadap data pembanding menunjukkan bahwa letusan Gunung Marapi berpengaruh terhadap parameter-parameter deposisi basah, dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pengukuran deposisi kering di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Kata Kunci: Gunung Marapi, deposisi asam, SPAG Bukit Kototabang, pH, daya hantar listrik, SO_2 , NO_2 , PM_{10} dan SPM , *Hysplit Volcanic Ash Model*

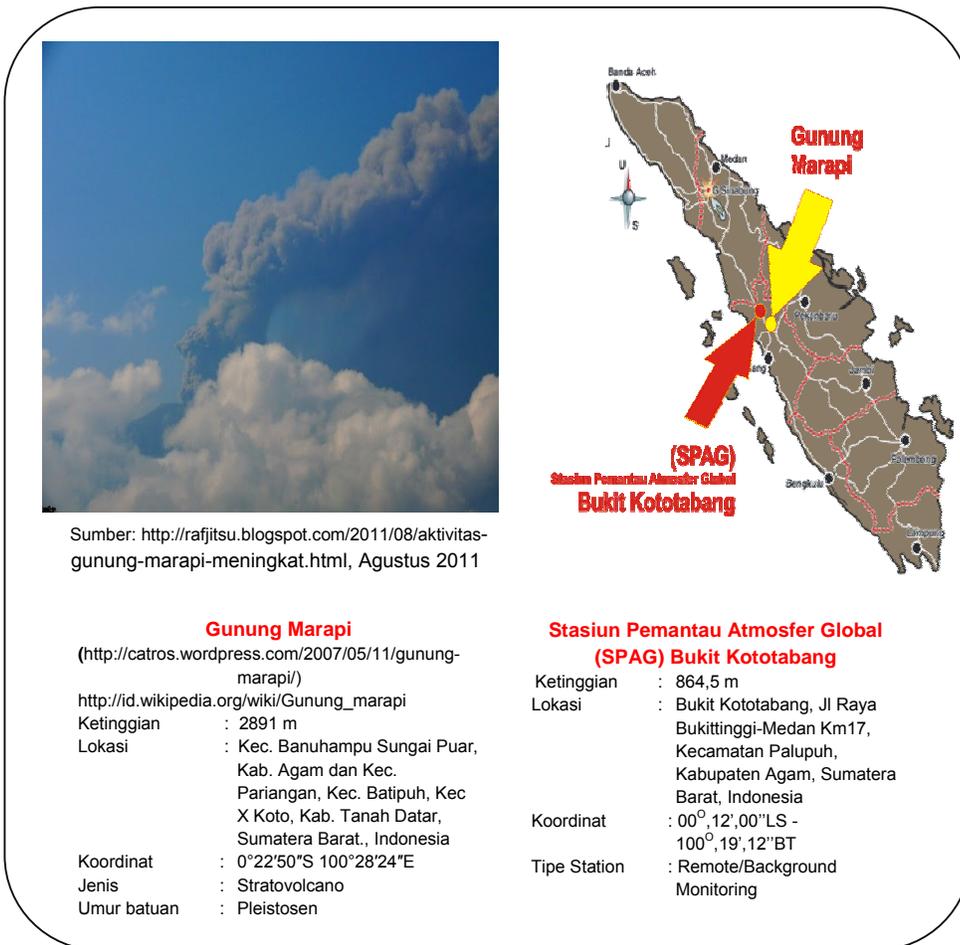
PENDAHULUAN

Gunung Marapi secara administratif berlokasi di dua kabupaten, yaitu kabupaten Agam dan kabupaten Tanah datar, propinsi Sumatera Barat, Indonesia. Kecamatan Banuhampu Sungai Puar di Kabupaten Agam dan Kecamatan Pariangan, Kecamatan Batipuh, Kecamatan X Koto di Kabupaten Tanah Datar. Gunung Marapi merupakan salah satu jenis Gunung berapi Tipe B (*stratovolcano*).

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun pengamatan referensi udara bersih. Secara geografi SPAG Bukit Kototabang terletak pada 100.32 bujur timur, 0.20 lintang selatan dan pada ketinggian 864.5 meter di atas permukaan laut. Stasiun ini terletak pada lokasi

yang jauh dari pemukiman dan aktivitas manusia agar udara yang diukur benar-benar alami sehingga dapat dijadikan referensi udara bersih.

Menurut laporan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Gunung Marapi mulai ada peningkatan aktifitas sejak tanggal 3 Agustus 2011 pukul 09.00 WIB, dan selama periode tanggal 1-10 Oktober 2011, sudah terjadi 111 kali letusan. (sumber : http://www.bnpb.go.id/website/asp/berita_list.asp?id=636). Dengan mengeluarkan material yang dikeluarkan pada letusan gunung berapi antara lain mengeluarkan asap dan abu vulkanik, yang biasa terkandung SO₂, belerang, partikel debu/aerosol dan sebagainya.



Gambar 1. Informasi SPAG Bukit Kototabang dan Gunung Marapi

Tulisan ini mencoba mengamati pengaruh letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada awal bulan Oktober 2011 terhadap parameter pengukuran deposisi asam di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang.

METODE**Deposisi Basah****Pengukuran Curah Hujan**

Sampel air hujan yang ditampung pada penakar hujan Observasi (Obs). Sampel hujan ini selanjutnya diukur curah hujannya menggunakan gelas ukur 25 mm standar BMKG (untuk corong 100 cm²). Sampel air hujan tersebut diukur tingkat keasaman (pH) dan daya hantar listrik (DHL/Konduktivitasnya).

Pengukuran Tingkat Keasaman (pH) Air Hujan

Pengukuran tingkat keasaman (pH) dilakukan dengan menggunakan alat pH meter inoLab pH Level 1, dengan cara mencelupkan elektroda pH meter ke dalam sampel air hujan, nilai pH akan terbaca pada display alat. Untuk menjaga kualitas data hasil pengukuran, minimal seminggu sekali sebelum pengukuran pH, pH meter inoLab pH Level 1 dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4,0 dan pH 7,0 dari Merck. Instrumen pH meter inoLab pH Level 1 masih berfungsi dengan baik jika slope mV/pH berada dalam kisaran range -60,5 sampai -58. Selama proses kalibrasi slope mV/pH selalu terbaca dalam range -60,5 sampai -58.

Pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL=Konduktivitas) Air hujan

Pengukuran daya hantar listrik menggunakan Conductivity meter Inolab Cond level 1, dengan cara mencelup sel elektroda ke dalam sampel air hujan, nilai DHL (dalam satuan mikro Siemen/cm = $\mu\text{S/cm}$) akan terbaca pada display alat. Sedangkan untuk menjaga kualitas data pengukuran daya hantar listrik minimal seminggu sekali, Conductivity meter inolab Cond Level 1 diatur nilai konstanta selnya berada pada kisaran 0,450 sampai 0,500 cm⁻¹ dengan larutan KCl 0,01M. Serta harus memenuhi syarat pengukuran larutan kontrol dengan larutan KCl 0,0001 M dan 0,0005 M.

Penggunaan air bebas ion sebagai bahan pelarut dan pencuci alat-alat gelas dikontrol dengan ketat. Untuk menjaga kebersihan dan menghindari kontaminasi dari alat-alat, air bebas ion yang digunakan merupakan hasil pemrosesan dari alat Ultra Pure Water System dengan konduktivitas sampai 0,055 μScm^{-1} , sehingga kontaminasi sangat diminimalkan (*Operator's Manual Ultra-Pure Water System Ultra Clear*, 2005).

Deposisi Kering**Pengukuran konsentrasi gas SO₂**

Konsentrasi gas SO₂ diperoleh dari instrumen *TS43i-Trace Level Enhance*. Sesuai dengan namanya, instrumen ini diperuntukkan monitoring gas SO₂ di daerah remote, nilai konsentrasi gas terukur dalam orde ppb (part per billion). Prinsip kerja instrumen ini dengan metode *UV Fluorescence*. Data gas SO₂ merupakan data dengan resolusi 5 menit, data ini kemudian diolah menjadi agregat harian. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan software *iport* dengan kabel *RS232*. Instrumen ini dilengkapi dengan sistem kalibrasi (*Dynamic Gas Calibrator TS146i* dan *Zero Air Supply TS111*) serta gas standar SO₂ untuk menjamin kualitas peralatan dan data yang dihasilkan.

Pengukuran konsentrasi gas NO₂

Konsentrasi gas NO₂ diperoleh dari instrumen *TS42i-Trace Level*. Sesuai dengan namanya, instrumen ini diperuntukkan monitoring gas NO, NO₂, NO_x di daerah remote, nilai konsentrasi gas terukur dalam orde ppb (part per billion). Prinsip kerja instrumen ini *Chemiluminescent*. Data gas NO₂ merupakan data dengan resolusi 5 menit, kemudian diolah data ini kemudian diolah menjadi agregat harian. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan *software iport* dengan kabel *RS232*. Instrumen ini dilengkapi dengan sistem kalibrasi (*Dynamic Gas Calibrator TS146i* dan *Zero Air Supply TS111*) serta gas standar NO₂ untuk menjamin kualitas peralatan dan data yang dihasilkan.

Pengukuran konsentrasi aerosol PM10

Konsentrasi PM10 /aerosol berukuran sampai 10 mikro meter diperoleh dari instrumen *BAM 1020*. Instrumen ini menggunakan prinsip pelemahan sinar beta. Data PM 10 merupakan data dengan resolusi 1 jam. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan aplikasi *hyper terminal* dengan kabel *RS232*. Dari *rawdata* kemudian diolah menjadi data agregat harian.

Pengukuran berat *Suspended Particulat Matter* (SPM)

Konsentrasi *Suspended Particulat Matter* (SPM) / aerosol mengendap biasanya berukuran sampai 100 mikrometer diperoleh dari instrumen HVAS (High Volume Air Sampler) Staplex. HVAS Staplex dilengkapi alat *hourmeter* untuk menghitung durasi pemasangan/pengoperasional instrumen. Instrumen ini dioperasikan selama 24 jam. HVAS Staplex ini juga dilengkapi dengan *flow controller* (pengatur laju alir), yang memastikan laju alir udara tetap sama. Laju

alir diatur tetap $1.12 \text{ LPM} \approx 1.2 \text{ LPM}$. Selisih antara berat filter sesudah dan sebelum pemasangan (dalam gram) yang masuk ke alat merupakan berat *Suspended Particulate Matter* (SPM). Berat filter ditimbang dengan neraca analitik.

Hysplit Volcanic Ash Model

Model ini merupakan salah satu produk dari NOAA, dan digunakan untuk memverifikasi arah letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada awal bulan Oktober 2011.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengamati pengaruh letusan abu vulkanik Gunung Marapi terhadap pengukuran deposisi asam di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang digunakan data agregat harian. Sebagai data pengujian (data sampel) digunakan data harian dari tanggal 1-10 Oktober 2011. Sedangkan sebagai data pembanding, digunakan data harian sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi, yaitu data harian bulan September 2011.

Deposisi Basah

Data Air Hujan

Deposisi basah mengacu pada pengendapan atau turunnya air dalam berbagai bentuk, antara lain: hujan, kabut dan salju. Monitoring deposisi basah di SPAG Bukit Kototabang hanya terbatas dalam bentuk air hujan. Air hujan menjadi komponen pokok pada siklus hidrologi dan memegang peranan penting dalam siklus pelarutan bahan-bahan kimia di alam. Air hujan juga berperan sebagai pencuci berbagai polutan yang ada di atmosfer, dengan cara membawa polutan tersebut dari udara ke permukaan tanah dan ke permukaan air.

Data sampel air hujan (pada peristiwa letusan abu vulkanik Gunung Marapi), digunakan data harian dari 1 Oktober 2011 sampai 10 Oktober 2011. walaupun ada beberapa hari dimana tidak terjadi hujan dan curah hujan tidak terukur, sehingga tingkat keasaman (pH) dan konduktivitas/daya hantar listrik air hujan saat itu tidak terukur atau tidak ada, data yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 1. Data air hujan saat letusan abu vulkanik Gn. Marapi pada awal Oktober 2011

Tanggal	Curah Hujan (mm)	DHL ($\mu\text{S/cm}$)	pH
02/10/2011	2,8	3,2	5,525
05/10/2011	45,5	4,0	5,451
09/10/2011	29,5	7,5	5,607

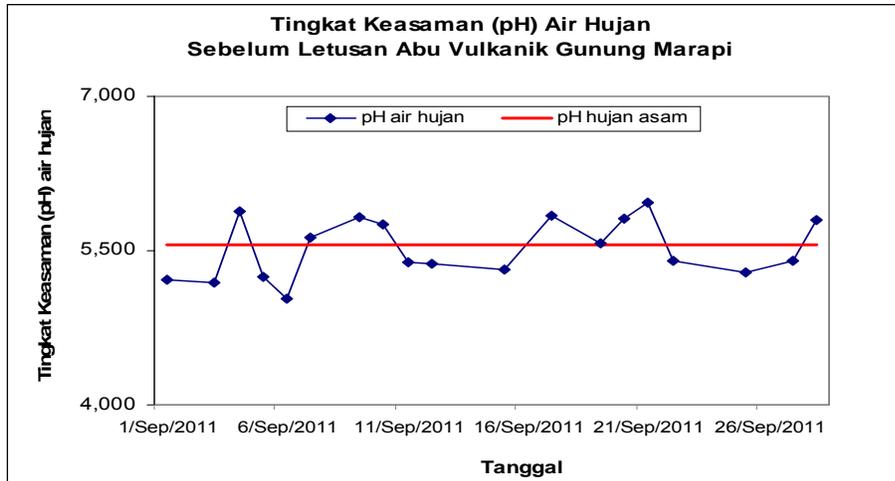
Sebagai data pembanding digunakan data harian dari 1 September 2011 sampai 30 September 2011, walaupun ada beberapa hari dimana tidak terjadi hujan dan curah hujan tidak terukur, sehingga tingkat keasaman (pH) dan konduktivitas/daya hantar listrik air hujan tidak terukur. Data yang digunakan sebagai pembanding diperoleh sebagai berikut:

Tabel 2. Data air hujan sebelum letusan abu vulkanik Gn. Marapi pada Oktober 2011

Tanggal	Curah Hujan (mm)	DHL ($\mu\text{S/cm}$)	pH
01/09/2011	6,2	5,222	2,1
03/09/2011	4,8	5,183	22,5
04/09/2011	24,6	5,884	8,7
05/09/2011	31,2	5,250	9,2
06/09/2011	9,0	5,038	22,2
07/09/2011	15,2	5,624	14,5
09/09/2011	1,5	5,819	4,8
10/09/2011	15,5	5,749	13,9
11/09/2011	20,4	5,390	9,3
12/09/2011	1,6	5,376	5,0
15/09/2011	40,0	5,322	14,5
17/09/2011	22,0	5,846	7,8
19/09/2011	4,0	5,573	18,6
20/09/2011	7,0	5,815	13,3
21/09/2011	2,9	5,961	2,1
22/09/2011	20,0	5,404	9,0
25/09/2011	75,0	5,290	11,4
27/09/2011	35,0	5,404	7,3
28/09/2011	18,0	5,801	5,6

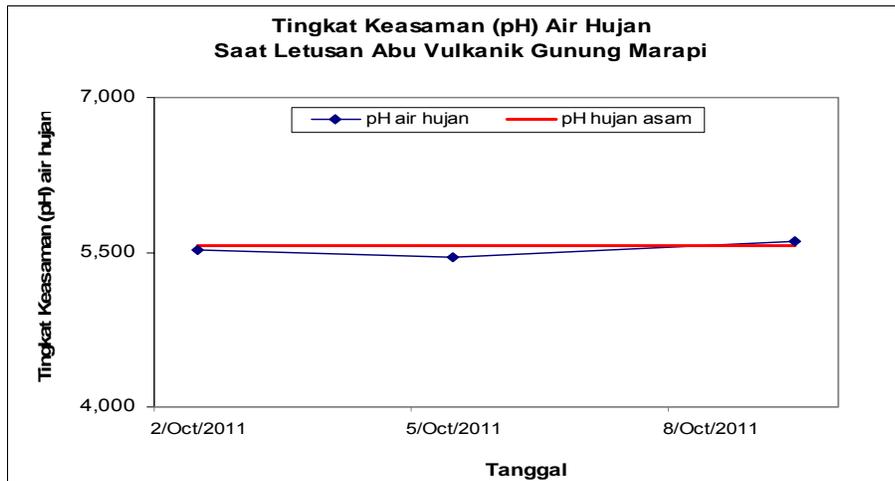
Tingkat Keasaman (pH) air hujan

Parameter deposisi basah yang diamati adalah tingkat keasaman (pH). Tingkat keasaman (pH) air hujan sangat penting diamati karena sebagai indikator tingkat kebersihan atmosfer. Bila pH air hujan di sekitar nilai 5,5, berarti air hujan hanya dipengaruhi oleh gas CO_2 saja. Namun bila ada konsentrasi gas terlarut misalnya NO_2 dan SO_2 , cenderung akan menurunkan nilai pH atau menaikkan tingkat keasaman. Fenomena dimana air hujan bersifat sangat asam dikenal sebagai hujan asam. Bila hujan asam terjadi dan berlangsung dalam periode yang lama akan berpengaruh buruk terhadap lingkungan hidup (biotik) dan lingkungan tak hidup (abiotik).



Gambar 2. Tingkat Keasaman (pH) air hujan di SPAG Bukit Kototabang sebelum letusan abu vulkanik Gunung Merapi

Stasiun Pemantau Atmosfer Global merupakan stasiun referensi udara bersih dan berada pada lokasi remote/jauh dari aktivitas manusia. Tingkat keasaman air hujan pada bulan September 2011 berkisar antara 5,038 sampai 5,961, hal itu menunjukkan bahwa air hujan secara dominan hanya dipengaruhi oleh konsentrasi gas CO₂. Walaupun pengaruh Aktivitas kegiatan manusia di sekitar SPAG Bukit Kototabang dan juga transport gas-gas polutan dari daerah lain, juga berpengaruh terhadap tingkat keasaman air hujan.



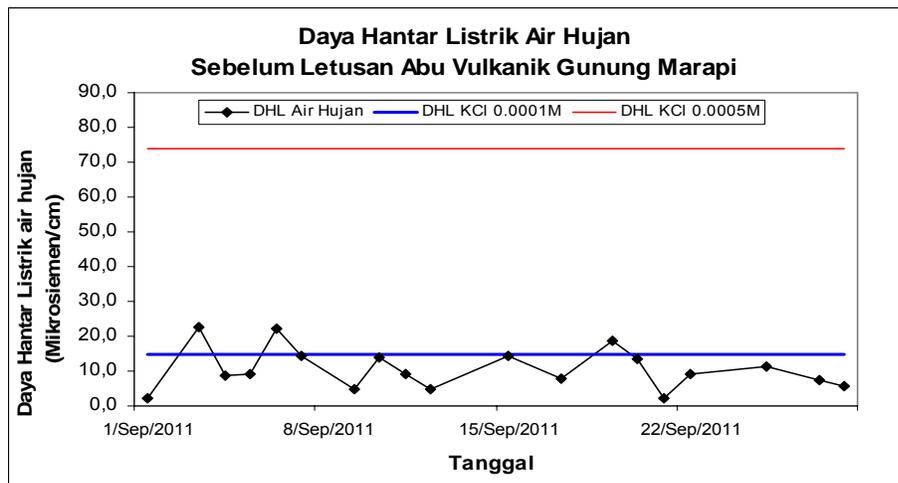
Gambar 3. Tingkat Keasaman (pH) air hujan di SPAG Bukit Kototabang saat setusan abu vulkanik Gunung Merapi

Letusan abu vulkanik Gunung Marapi ternyata tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat keasaman (pH) air hujan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, terlihat bahwa nilai pH air hujan saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi, tanggal 1-10 Oktober 2011 tetap berada di sekitar

pH 5,5. Kemungkinan besar material vulkanik yang berpengaruh terhadap keasaman air hujan tidak sampai ke Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

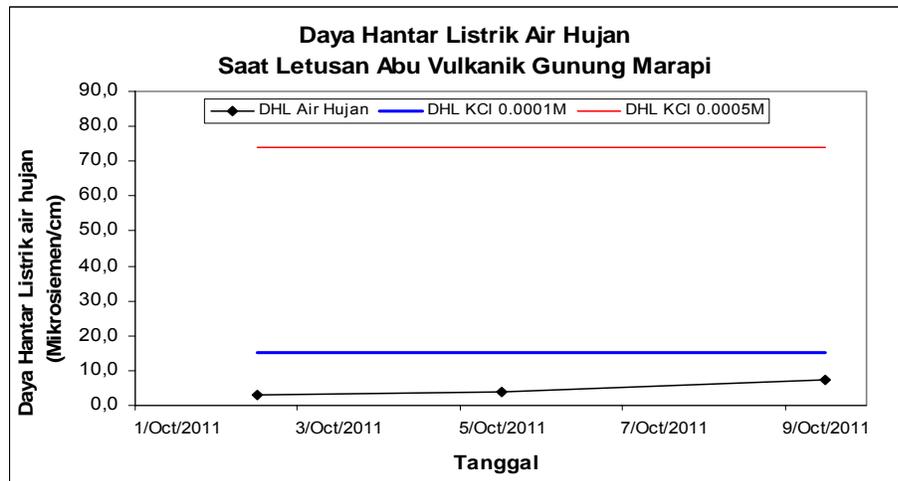
Daya Hantar Listrik (DHL) air hujan

Parameter deposisi basah kedua yang diamati adalah Daya Hantar Listrik (DHL). Daya hantar listrik menggambarkan banyaknya ion-ion yang dapat terlarut dalam air hujan. Semakin tinggi daya hantar listriknya semakin banyak ion-ion terlarut dalam air hujan.



Gambar 4. Daya hantar listrik (konduktivitas) air hujan di di SPAG Bukit Kototabang sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Stasiun Pemantau Atmosfer Global merupakan stasiun referensi udara bersih dan berada pada lokasi remote/jauh dari aktivitas manusia. Daya hantar listrik air hujan menunjukkan konsentrasi polutan di atmosfer. Semakin tinggi konsentrasi polutan di atmosfer yang bisa larut dalam air hujan, maka semakin tinggi daya hantar listrik yang terukur. Nilai daya hantar listrik air hujan, sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi atau pada bulan September 2011 dapat dikatakan rendah karena berada di sekitar larutan KCl 0,0001 M dan bahkan jauh di bawah DHL larutan kontrol KCl 0,0005 M. Daya hantar listrik air hujan yang terukur di SPAG Bukit Kototabang pada bulan September 201 berkisar 2,1 sampai 22,5 μ S/cm. Rendahnya daya hantar listrik dalam air hujan sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi ditunjukkan dengan melihat gambar 4.



Gambar 5. Daya hantar listrik (konduktivitas) air hujan di SPAG Bukit Kototabang saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi

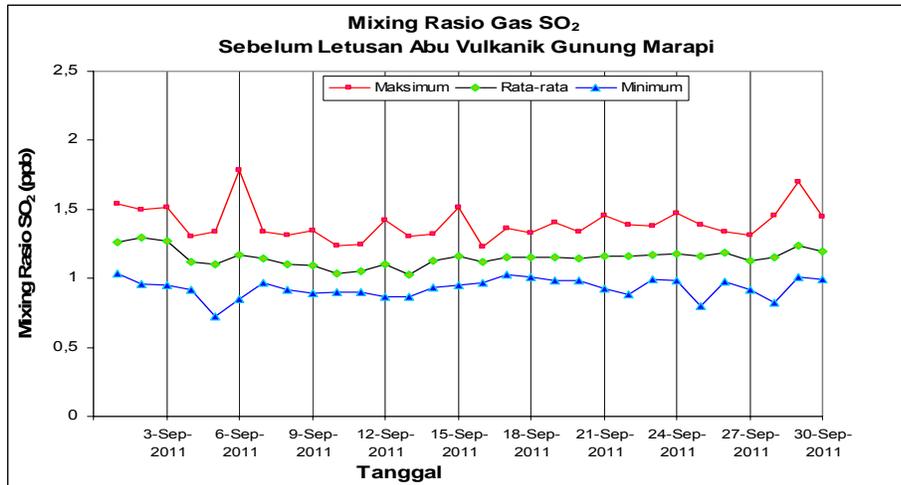
Letusan abu vulkanik Gunung Marapi ternyata tidak berpengaruh terhadap pengukuran daya hantar listrik air hujan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, terbukti dari nilai daya hantar listrik air hujan saat terjadinya letusan gunung Marapi 1-10 Oktober 2011 berada di bawah daya hantar listrik larutan kontrol KCl 0,0001 M.

Deposisi Kering

Gas SO₂

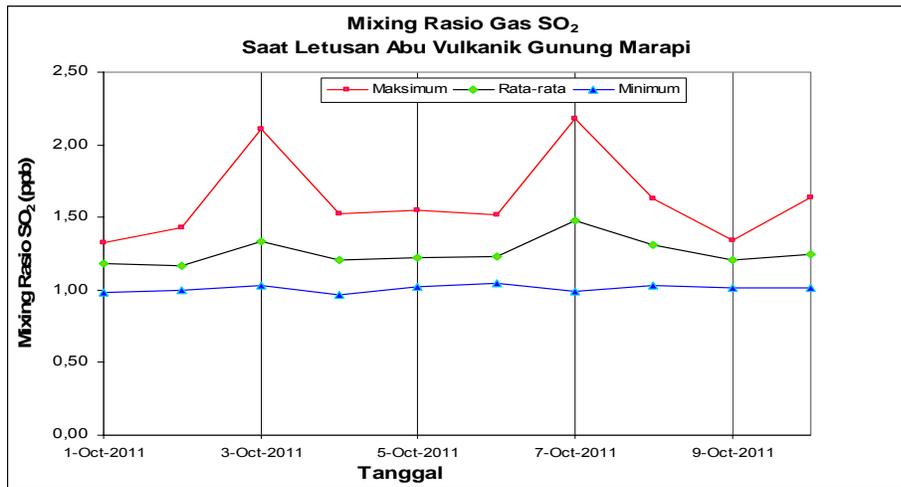
Parameter gas yang diamati dalam deposisi kering adalah SO₂ (Sulfurdioksida). Gas SO₂ pada kondisi memungkinkan akan mampu membentuk asam sulfat (H₂SO₄). Walaupun gas ini mempunyai kelarutan yang kecil dalam air, tetapi bila gas ini dengan jumlah mol yang sama dengan gas lain mampu menaikkan keasaman/ menurunkan pH cukup besar dibandingkan dengan gas lain (CO₂ dan NO₂).

Sebagai data pembanding (sebelum letusan Gunung Marapi) digunakan data harian dari 1 September 2011 sampai 30 September 2011, diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 6. Mixing Ratio gas SO₂ harian di di SPAG Bukit Kototabang sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Sebagai data sampel (saat terjadinya letusan Gunung Marapi digunakan data harian dari 1 Oktober 2011 sampai 10 Oktober 2011, diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 7. Mixing Ratio gas SO₂ harian di SPAG Bukit Kototabang saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi

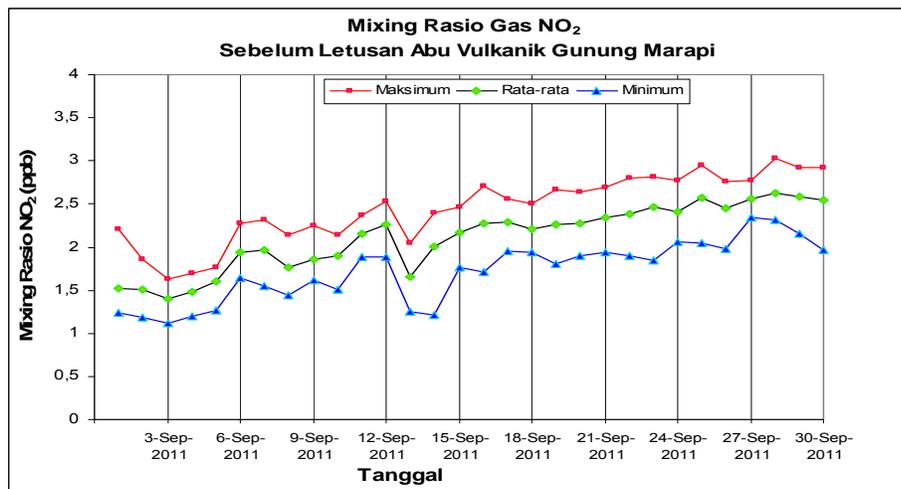
Nilai rata-rata mixing rasio gas SO₂ saat letusan abu Gunung Marapi sebesar 1,48 ppb, sedangkan nilai rata rata mixing rasio gas SO₂ sebelum letusan Gunung Sinabung 1,15 ppb. Mixing rasio gas SO₂ saat letusan Gunung Marapi mencapai maksimum 2,18 ppb pada tanggal 7 Oktober 2011, sedangkan nilai mixing rasio gas SO₂ sebelum letusan Gunung Marapi mencapai maksimum 1,78 ppb pada 6 September 2011. Kenaikan mixing rasio gas SO₂ masih dalam orde ppb (part per bilion) setelah kejadian letusan abu vulkanik gunung Marapi, bukan merupakan pengaruh material letusan gunung Marapi, tetapi merupakan

variabilitas harian. Dari analisis tersebut dapat dikatakan letusan abu vulkanik Gunung Marapi tidak berpengaruh terhadap pengukuran gas SO₂ di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Gas NO₂

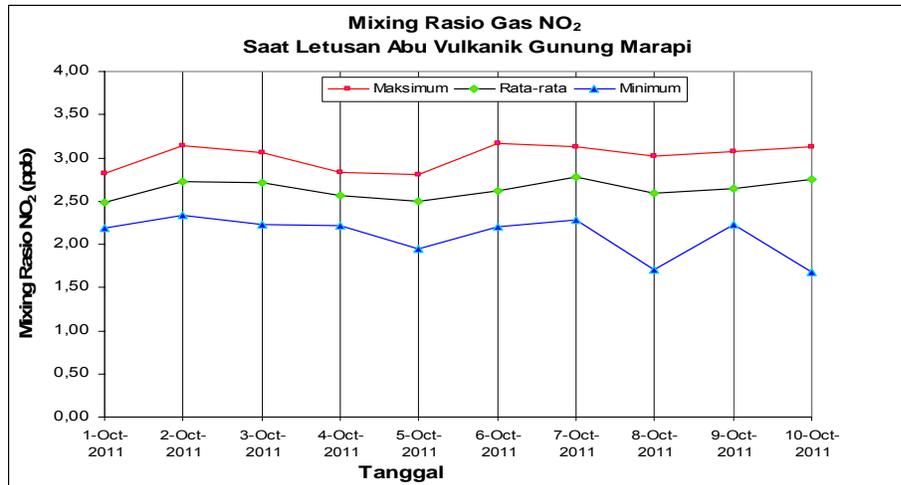
Parameter kedua dalam deposisi kering adalah gas NO₂ (Nitrogendioksida). Gas NO₂ dalam kondisi lingkungan yang sesuai akan mampu membentuk asam nitrat (HNO₃). Asam ini berbahaya bagi lingkungan hidup (biotik) dan lingkungan tak hidup (abiotik).

Sebagai data pembanding (sebelum letusan Gunung Marapi) digunakan data harian dari 1 September 2011 sampai 30 September 2011, diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 8. Mixing Ratio gas NO₂ harian di di SPAG Bukit Kototabang sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Mixing rasio gas NO₂ sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi, menunjukkan nilai rata-rata 2,12 ppb, mencapai nilai maksimum pada 28 September 2011 sebesar 3,03 ppb, dan mencapai nilai minimum pada 3 September 2011 sebesar 1,12 ppb. Kecenderungan kenaikan mixing rasio gas NO₂ pada 1 sampai 30 September 2011 kemungkinan besar disebabkan karena banyaknya aktivitas antropogenik terutama kendaraan bermotor dan mesin-mesin di sekitar Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang. Sebagai data sampel (saat terjadinya letusan abu vulkanik Gunung Marapi) digunakan data harian dari 1 Oktober 2011 sampai 10 Oktober 2011, diperoleh data sebagai berikut:



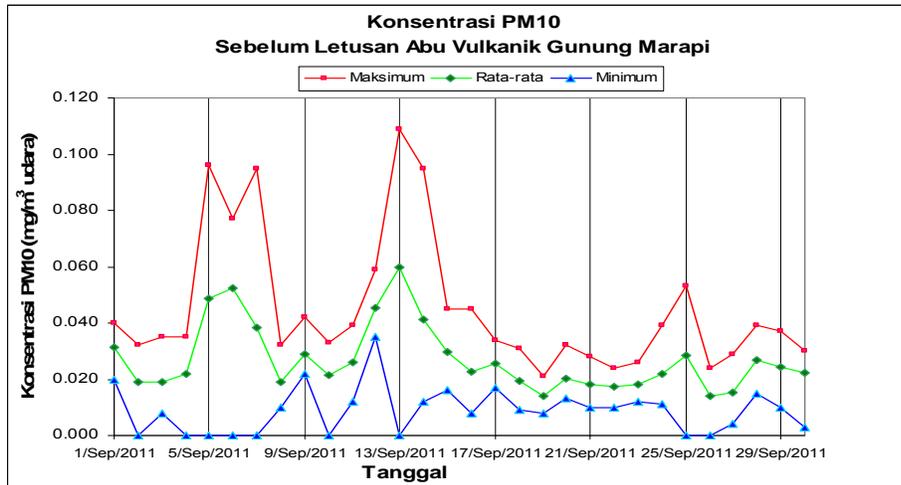
Gambar 9. Mixing Ratio gas NO₂ harian di di SPAG Bukit Kototabang saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Letusan abu vulkanik Gunung Marapi ternyata tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pengukuran gas NO₂ di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, terlihat bahwa nilai rata-rata mixing rasio gas NO₂ harian saat letusan abu vulkanik sebesar 2,78 ppb dan mencapai maksimum pada 6 Oktober 2011 sebesar 3,16 ppb. Kecenderungan kenaikan mixing rasio gas NO₂ merupakan variabilitas harian dan masih berada dalam orde ppb. Hal itu didukung juga nilai maksimum mixing rasio gas NO₂ saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi tidak berbeda jauh dengan nilai maksimum mixing rasio gas NO₂ sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi.

Aerosol/ PM 10

Parameter Deposisi kering dari kelompok partikel/aerosol adalah PM 10 (partikel debu berukuran sampai 10 mikron). Parameter ini penting untuk diamati karena aerosol ini berpengaruh terhadap kesehatan manusia terutama pernafasan (berpotensi untuk mengganggu pernafasan) dan dapat mengganggu jarak pandang (visibilitas). Selain itu partikel ini cenderung mempunyai jarak tempuh yang jauh dari sumber awal polutannya.

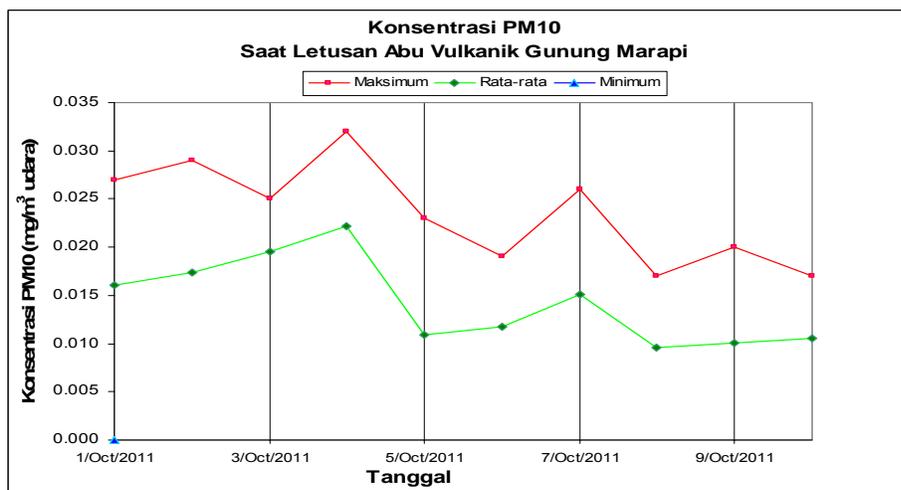
Sebagai data pembanding (sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi) digunakan data harian dari 1 September 2011 sampai 31 September 2011, walaupun ada beberapa jam dimana data tak tersedia atau konsentrasi terbaca 0 mg/m³ udara, diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 12. Konsentrasi PM10 harian di di SPAG Bukit Kototabang sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi, konsentrasi PM10 rata-rata harian di SPAG Bukit Kototabang sebesar 0,027 mg/m³ udara, maksimum tercapai sebesar 0,109 mg/m³ udara pada 13 September 2011, minimum tercapai beberapa hari pada bulan September saat konsentrasi PM 10 sebesar 0.000 mg/m³. Tingginya konsentrasi PM10 pada tanggal 5,7 dan 13 September 2011, kemungkinan besar adalah aktivitas antropogenik di sekitar stasiun GAW Bukit Kototabang, ditambah lagi dengan adanya transport polutan hasil kebakaran hutan di pulau Sumatera, khususnya di Jambi dan Riau.

Sebagai data sampel (setelah letusan abu vulkanik Gunung Marapi) digunakan data harian dari 1 Oktober 2011 sampai 10 Oktober 2011, diperoleh data sebagai berikut:



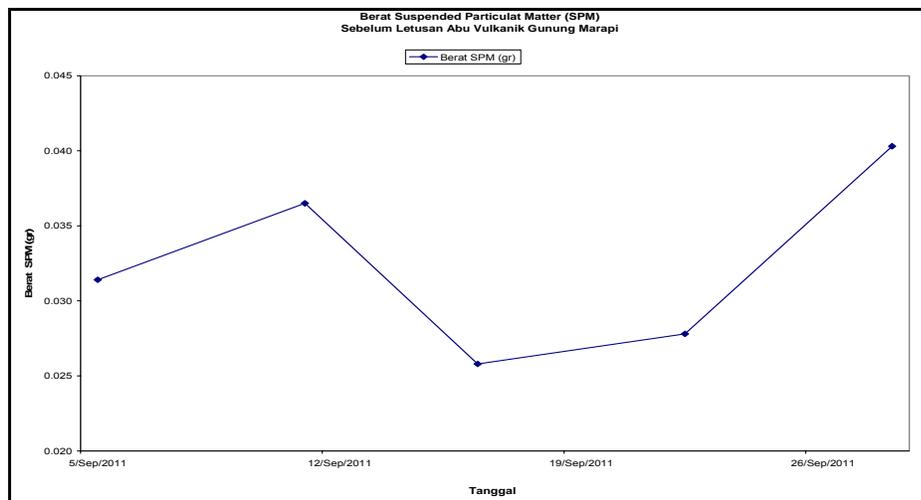
Gambar 13. Konsentrasi PM10 harian di SPAG Bukit Kototabang saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Saat letusan abu vulkanik gunung Marapi, konsentrasi PM10 di rata-rata harian di SPAG Bukit Kototabang sebesar $0,014 \text{ mg/m}^3$ udara, maksimum tercapai sebesar $0,032 \text{ mg/m}^3$ udara pada 4 Oktober 2011.

Letusan abu vulkanik Gunung Marapi ternyata tidak berpengaruh secara nyata terhadap pengukuran aerosol PM 10 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, terlihat dari nilai rata-rata, nilai maksimum konsentrasi harian PM 10 sebelum dan saat Gunung Marapi meletus. Nilai rata-rata dan nilai maksimum konsentrasi hari PM 10 saat terjadinya letusan Gunung Marapi lebih rendah daripada sebelum letusan, dari data itu merupakan indikator bahwa letusan abu vulkanik Gunung Marapi ternyata tidak berpengaruh secara nyata terhadap pengukuran aerosol PM 10 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

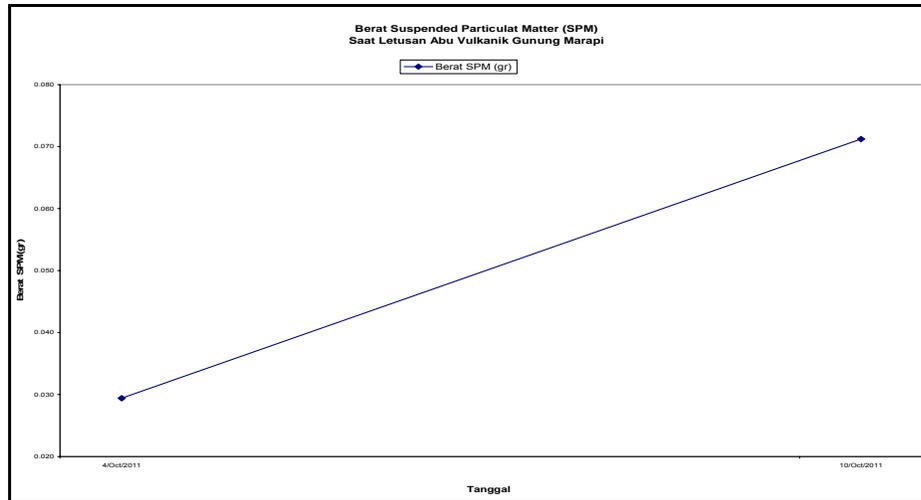
Aerosol / Suspended Particulat Matter (SPM)

Parameter kedua deposisi kering dari kelompok partikel/aerosol adalah *Suspended Particulat Matter* (SPM), merupakan partikel debu (aerosol) yang dapat mengendap dan biasanya berukuran sampai 100 mikron. Partikel ini diamati karena debu vulkanik cenderung berukuran lebih besar dari 10 mikron. Sebagai data pembandingan (sebelum letusan Gunung Marapi), digunakan data sampling 24 jam yang dilakukan mingguan dari 1 September sampai 30 September 2011, disini dipilih tanggal 5, 11, 16, 22 dan 28 September 2011, diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 14. Berat Suspended Particulat Matter (SPM) di SPAG Bukit Kototabang sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Sebagai data sampel (setelah letusan Gunung Marapi) digunakan data sampling 24 jam yang dilakukan mingguan, yaitu tanggal 4 dan 10 Oktober 2011, diperoleh data sebagai berikut:



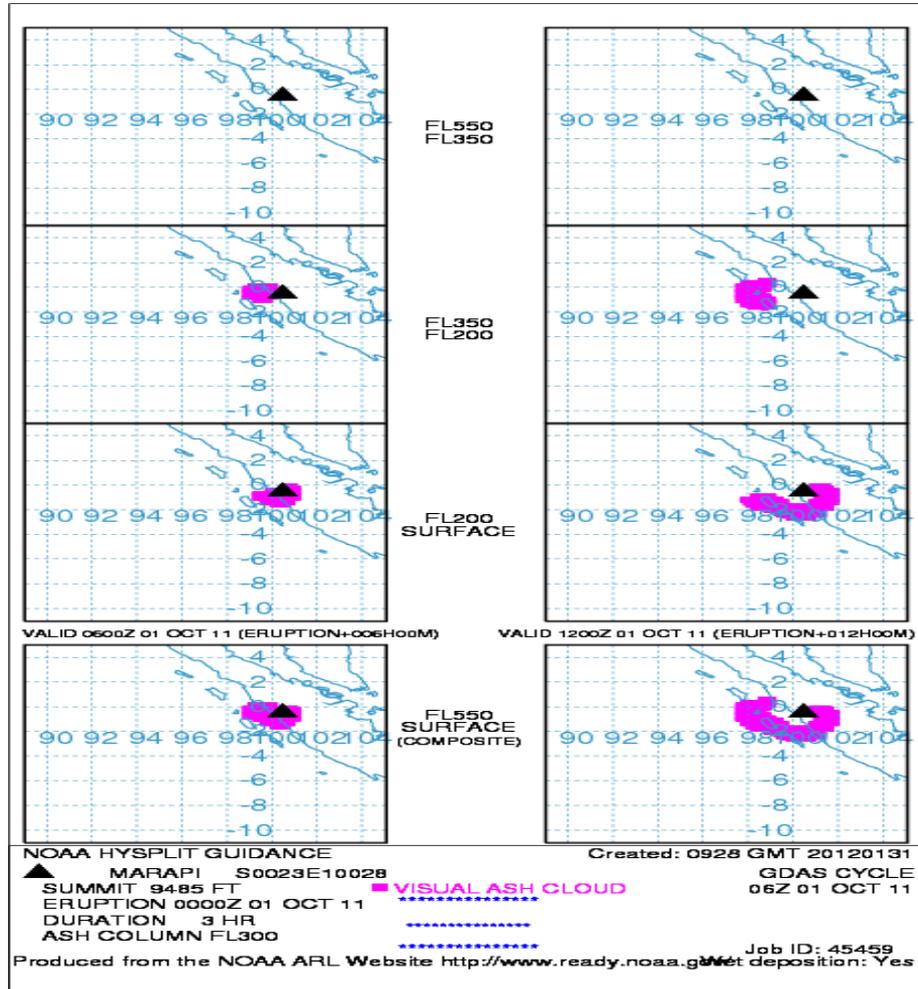
Gambar 15. Berat Suspended Particulate Matter (SPM) di SPAG Bukit Kototabang saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi

Sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada bulan September 2011, dari data pengukuran 1 sampai 30 September 2011, diketahui berat SPM rata-rata sebesar 0,0323 gr, dengan nilai maksimum tercapai pada 28 September 2011 seberat 0,0403 gr. Sedangkan berat SPM saat letusan abu vulkanik Gunung Marapi dengan data pengukuran 2 data tanggal 4 dan 10 Oktober 2011, diperoleh berat rata-rata 0,0503 gr, dan berat SPM maksimum 0,0712 gr.

Kenaikan nilai berat SPM sebelum dan saat letusan, dilihat dari nilai rata-rata dan nilai maksimumnya yang masih dalam orde 0,01 gram, bukan mencerminkan berat dari material letusan abu vulkanik Gunung Marapi, namun kemungkinan karena aktivitas antropogenik di sekitar Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Hysplit Volcanic Ash Model

Salah satu model untuk memperkirakan arah letusan abu vulkanik dan material gunung berapi adalah *Hysplit Volcanic Ash Model* dari NOAA. Penulis mencoba menjalankan model tersebut dengan skenario Gunung Marapi meletus selama 1 jam, dan terjadi pada 1 Oktober 2011. Hasil running model itu:



Gambar 16. Output Model *Hysplit Volcanic Ash Model* dari NOAA dengan skenario Gunung Marapi meletus pada 1 Oktober 2011 selama 3 jam

Model tersebut memverifikasi bahwa arah material abu vulkanik adalah ke arah barat, ke arah pantai Padang.

Hubungan antara berbagai parameter

Walaupun jarak antara Gunung Marapi dengan SPAG Bukit Kototabang kurang dari 50 km, namun parameter-parameter pengukuran deposisi kering dan deposisi basah tidak terlalu terpengaruh. Nilai pengukuran gas SO₂ dan nilai SPM yang diharapkan tinggi, karena material abu vulkanik akan banyak mengandung gas SO₂ dan partikel-partikel yang berukuran sampai 100 mikrometer akan terbawa terbang menuju ke SPAG Bukit Kototabang, ternyata tidak. Data-data fluktuatif nilai deposisi kering antara lain gas SO₂, NO₂, PM 10, SPM, merupakan variabilitas harian, dan banyak dipengaruhi oleh transport polutan dari daerah lain seperti kebakaran, kegiatan antropogenik di sekitar SPAG Bukit Kototabang, dan bukan akibat dari letusan abu vulkanik Gunung

Marapi. Nilai tingkat keasaman (pH) yang diharapkan jauh dibawah 4,000, tidak terjadi. DHL air hujan yang diharapkan akan tinggi karena melarutkan abu vulkanik Gunung Marapi juga tidak terjadi, DHL saat terjadi letusan pada 1-10 Oktober 2011 bahkan lebih rendah daripada larutan kontrol KCl 0,001M.

Output dari Model Hysplit Volcanic Ash (dari NOAA) sangat cocok dengan data observasi di SPAG Bukit Kototabang. Arah dan lintasan abu vulkanik letusan abu vulkanik Gunung Marapi ke arah barat atau ke arah pantai Padang, bukan ke arah utara (ke arah SPAG Bukit Kototabang), sehingga semua parameter pengukuran deposisi asam, baik deposisi basah maupun deposisi kering tidak terpengaruh oleh letusan abu vulkanik gunung Marapi.

KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis di atas dapat diambil kesimpulan, letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada awal bulan Oktober 2011, berdasarkan laporan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana ternyata tidak mempengaruhi hasil pengukuran deposisi asam di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang. Adanya kenaikan kecil pada pengukuran deposisi kering terutama gas SO₂ dan SPM, hal itu merupakan variabilitas harian dan akibat dari aktivitas antropogenik di sekitar Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang. Model Model Hysplit Volcanic Ash (dari NOAA) juga mendukung bahwa arah letusan abu vulkanik Gunung Marapi ke arah barat ke pantai Padang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada segenap rekan-rekan SPAG Bukit Kototabang yang telah bersama-sama menyediakan data deposisi kering dan deposisi basah. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada NOAA (terutama dari website resmi :<http://www.ready.noaa.gov>) yang menyediakan data keluaran model Hysplit Volcanic Ash secara online melalui internet.

DAFTAR ACUAN

_____,2001, BAM 1020 Particulate Monitor Operation Manual, Met One Instruments, Inc, 1600 NW Washington Blvd., Grants Pass, Oregon.

_____,2002, Operating Manual inoLab pH Level 1, Weilheim WTW GmbH & Co., Germany.

_____,2002, Operating Manual inoLab Cond Level 1, Weilheim WTW GmbH & Co., Germany.

_____,2010, Log Book Pengamatan Cuaca Manual Terbatas (2011), SPAG Bukit Kototabang.

_____,2010, Log Book pH dan Konduktivitas Air Hujan (2011), SPAG Bukit Kototabang.

Agusta Kurniawan, 2009, Pengaruh Gas CO₂ Dan SO₂ Di Atmosfer terhadap pH Air Hujan Di Bukit Kototabang, Megasains Edisi 2, SPAG Bukit Kototabang.

Agusta Kurniawan, 2009, Pengaruh Letusan Gunung Sinabung Terhadap Pengukuran Deposisi Asam Di Bukit Kototabang, Megasains Volume I No.4 Desember 2010, SPAG Bukit Kototabang.

J. E. Andrews, P. Brimblecambe, T. D. Jickells dan P. S. Liss, 1996, *An Introduction to Environmental Chemistry*, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Blackwell Sciences, UK.

R. Miroslav dan B. N. Vladimir, 1999, *Practical Environmental Analysis*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

<http://rafjitsu.blogspot.com/2011/08/aktivitas-gunung-marapi-meningkat.html>, diakses 8 Agustus 2011.

http://www.bnpb.go.id/website/asp/berita_list.asp?id=636, diakses 31 Januari 2012

**ANALISIS HUJAN LEBAT DI WILAYAH PESISIR SELATAN
DENGAN MENGGUNAKAN DATA GSMaP_NRT
(Studi Kasus Hujan Lebat, Tgl 02-03 Nopember 2011)**

Sugeng Nugroho

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

ABSTRAK

Banjir yang terjadi di wilayah Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat pada awal bulan Nopember 2011 menyebabkan banyak kerugian. Peristiwa banjir ini dianalisa dengan menggunakan data curah data hujan per jam dari satelit GSMaP_NRT. Hasilnya menunjukkan bahwa peristiwa tersebut diakibatkan oleh terjadinya hujan yang terus menerus selama hampir 12 jam dengan intensitas curah hujan yang relatif tinggi di wilayah tersebut yang dipicu oleh adanya sel tekanan rendah di perairan laut sebelah barat Pulau Sumatera. Banyaknya kerugian yang diakibatkan, karena banjir kali ini terjadi pada malam menjelang dini hari dan tidak adanya peringatan dini kepada masyarakat akan terjadinya hujan lebat.

Kata Kunci: Banjir, Pesisir Selatan, GSMaP_NRT.

PENDAHULUAN

Pada tanggal 2 dan 3 Nopember 2011 terjadi banjir besar di kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat . Banjir kali ini disebabkan oleh tingginya curah hujan pada akhir bulan Oktober dan awal bulan November 2011 sehingga menyebabkan meluapnya enam sungai (batang) besar di kabupaten Pesisir Selatan, yaitu Batang Bayang, Batang Kapas, Batang Surantih, Batang Lenggayang, dan Batang Tapan. Banjir ini juga diperparah dengan adanya abrasi akibat gelombang pasang yang mencapai tiga meter. Menurut kesaksian masyarakat setempat banjir terjadi pada hari Kamis, tanggal 3 Nopember 2011, jam 04 dini hari. (Padang Ekspres, 2011)

Curah hujan tahunan yang tinggi, dan diantaranya tergolong curah hujan yang tertinggi di permukaan bumi diamati terjadi di sekitar bagian barat Pulau Sumatera, dan sebagian besar hujan tersebut terjadi pada malam hari. Curah hujan yang terjadi daratan Pulau Sumatera, terutama yang terjadi di wilayah pegunungan pulau tersebut terjadi pada sore hari, namun hujan di perairan sebelah barat pulau lebih sering terjadi pada hari. Hal ini terjadi karena adanya faktor topografi pegunungan di Pulau Sumatera yang menyebabkan panas termal dan konvektif mempengaruhi sistem sirkulasi atmosfer lokal dimana sel-sel awan konvektif tersebut bergerak ke arah pantai bagian barat yang

menyebabkan banyak hujan terjadi pada malam hari di wilayah perairan tersebut. (Wu, et al, 2009).

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa kebanyakan terjadinya hujan lebat terjadi berkaitan dengan adanya gangguan cuaca pada skala meso- α , seperti siklon dan front. Gangguan cuaca pada skala meso- β , seperti kluster awan-awan konvektif, yang ada pada suatu gangguan cuaca skala meso- α , biasanya secara langsung juga berhubungan dengan terjadinya hujan lebat. Perbedaan type sistem hujan pada skala meso- β dapat diketahui perbedaannya, yaitu biasanya terdiri dari beberapa gangguan skala meso- γ , contohnya adalah adanya satu sel awan konvektif, seperti awan Cb. Kejadian hujan lebat yang berhubungan dengan adanya kluster awan konvektif terjadi pada area skala horisontal kurang dari 100 km dan skala waktu beberapa jam saja, sedangkan yang berhubungan dengan adanya siklon, pada skala kurang lebih 1000 km dengan waktu hingga beberapa hari. (Asai, 1992).

Sistem cuaca dan iklim Indonesia sangat erat kaitannya dengan posisi geografi, topografi, struktur kepulauan dan orientasi pulau. Faktor-faktor tersebut dapat merubah sistem peredaran dasar, seperti adanya peran monsun Asia-Australia yang lebih dominan dari peredaran sel Hadley utara-selatan. Sel Walker yang terbelah-belah oleh struktur dan orientasi kepulauan menjadi golakan-golakan dalam skala meso. ITCZ yang sebenarnya merupakan daerah konvergensi antara angin pasat dari peredaran antisiklonal utara-selatan berubah sifat menjadi pertemuan antara massa udara dari belahan bumi utara-selatan. Oleh karena itu dalam mengenali cuaca dan iklim Indonesia perlu dipelajari juga aspek geografi, aspek topografi dan orografi, serta aspek struktur dan orientasi wilayah (Wirjohamidjojo dan Swarinoto, 2010)

Sementara itu Sasmito, et al (2009) menyatakan bahwa atmosfer di atas wilayah Indonesia memiliki dinamika dengan tingkat nonlinearitas yang sangat tinggi sebagai akibat dari kondisi dan bentuk topografi, vegetasi, serta pengaruh dinamika atmosfer seperti monsun Asia-Australia, interaksi laut-atmosfer di Samudra Pasifik ENSO dan Samudra Hindia di samping pengaruh lokal dari masing-masing daerah tersebut. Karakter cuaca dan iklim di Indonesia tidak selamanya berada dalam kondisi normal, ada kalanya terjadi penurunan curah hujan yang menimbulkan kekeringan, sebaliknya terkadang mengalami peningkatan curah hujan yang dapat menimbulkan banjir.

Perkembangan terkini dalam teknologi observasi meteorologi, termasuk teknologi satelit dan remote sensing untuk pengamatan meteorologi menunjukkan kemajuan yang sangat berarti, seperti teknologi radar dan satelit

observasi meteorologi dan pengolahan datanya. Hal tersebut membuat pengamatan terjadinya hujan lebat dapat lebih cepat dideteksi. Namun demikian, secara detil dari lokasi jatuhnya hujan lebat dan bagaimana mekanisme terjadinya masih menjadi bahan penelitian yang lebih mendalam bagi para meteorologist. Hal ini disebabkan, kejadian hujan lebat berkaitan dengan pelepasan energi panas laten dari awan-awan konvektif yang terjadi pada suatu area yang sempit dalam skala waktu yang sangat singkat dan sangat dipengaruhi oleh faktor lokal. (Kelkar, 2007).

Hujan lebat yang terjadi pada tanggal 2 dan 3 Nopember 2011 di kabupaten Pesisir Selatan menyebabkan kerugian jiwa, harta dan infrastruktur yang sangat besar. Salah satu faktor penyebab besarnya kerugian yang ditimbulkan tersebut adalah tidak adanya peringatan akan adanya bencana tersebut kepada warga masyarakat. Penyebab utama terjadinya banjir adalah karena adanya kejadian hujan dengan intensitas besar yang terjadi secara terus-menerus dalam beberapa jam. Sementara itu peringatan kepada warga masyarakat akan terjadinya banjir di wilayah ini tidak dapat diberikan karena tidak tersedianya data hujan, terutama data hujan per jam (*rainfall hourly data*). Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa GSMaP_NRT (*Global Satellite Mapping of Precipitation Near Real Time*) mampu menyediakan data hujan per jam hanya dalam waktu 4 jam setelah observasi. Studi kasus ini bertujuan untuk menganalisis kejadian hujan pada saat terjadinya banjir di wilayah tersebut.

METODE PENELITIAN

Data

Sumber data

Data curah hujan dasarian dan bulanan di Wilayah Pesisir Selatan digunakan sebagai petunjuk utama kondisi klimatologis hujan di wilayah tersebut. Data bersumber dari pos penakar hujan kerjasama di Kabupaten Pesisir Selatan. Untuk mengetahui data curah hujan di wilayah Pesisir Selatan setiap jam (*hourly data*) pada tanggal 2 dan 3 Nopember 2011 digunakan data curah hujan satelit GSMaP_NRT dari EORC/JAXA yang dapat diunduh di: <ftp://rainmap@hokusai.eorc.jaxa.jp/realtime/> atau <ftp://rainmap:amechizu@hokusai.eorc.jaxa.jp/realtime/>. Resolusi spasial dari data tersebut sebesar $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, dengan format data NetCDF.

Selain itu juga digunakan data hasil pengamatan dengan menggunakan penakar hujan otomatis untuk memvalidasi data hujan hasil pengamatan dengan satelit tersebut. Namun karena ketersediaan data hujan setiap jam

sangat terbatas, maka validasi kali ini hanya dilakukan dengan menggunakan data hujan setiap jam dari pengukuran penakar hujan otomatis di Bukit Kototabang dan Batusangkar

Pengolahan data GSMaP_NRT

Untuk mengekstrak data hujan satelit yang berformat NetCDF digunakan software GrADS dan bantuan script fprintf.gs untuk merubahnya menjadi data numerik dengan format txt atau csv.

Validasi data GSMaP_NRT

Tujuan dari validasi data adalah untuk melihat tingkat nilai kecocokan kejadian (hanya melihat kejadian hujan atau tidak hujan) antara data pengamatan dan data satelit. Selain itu validasi juga bertujuan untuk melihat seberapa besar kedekatan data hasil pengukuran curah hujan dengan satelit terhadap nilai benarnya yaitu besar curah hujan hasil pengukuran curah hujan dengan alat penakar curah hujan di permukaan bumi. Validasi dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan metode statistik yang umum digunakan, yaitu:

- Kecocokan kejadian (p)

$$p = \frac{\sum \text{nilaibenar}}{\sum \text{ndata}} \times 100\%$$

- Koefisien Korelasi (r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{mean})(P_i - P_{mean})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{mean})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P_{mean})^2}}$$

Koefisien korelasi (r) menunjukkan hubungan (linier) relatif antara dua variabel (data observasi dan data prakiraan). Nilai korelasi baik jika nilai koefisien mendekati ± 1

- *Root Mean Square Error (RMSE)*

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}}$$

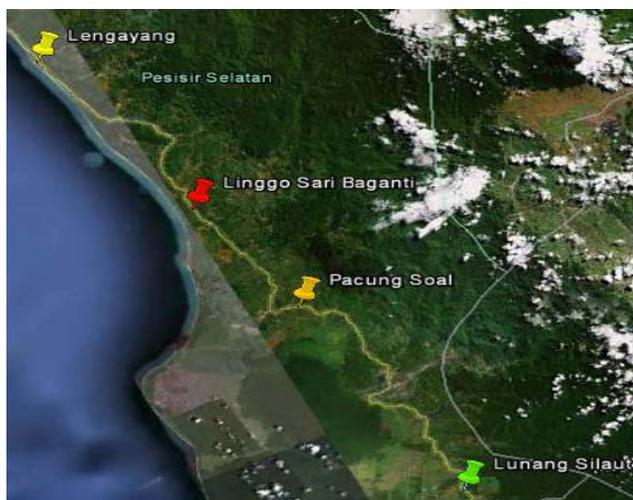
Root mean square error (RMSE) digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil prakiraan suatu model atau estimasi satelit. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan atau jumlah kuadrat dari data estimasi satelit dan data observasi. RMSE juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang

dihasilkan oleh estimasi satelit. Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu nilai atau data hasil estimasi suatu satelit mendekati variasi nilai observasinya. (Stanski, et al, 1989)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah banjir

Banjir yang terjadi di awal bulan Nopember 2011 tersebut melanda 10 Kecamatan dari 12 kecamatan di kabupaten tersebut, yaitu kecamatan Basa IV Balai Tapan, Batang Kapas, Bayang, Koto XI Tarusan, Lengayang, Linggo Sari Baganti, Lunang Silaut, Pacung Soal, Ranah Pesisir, dan Sutera. Kecamatan Batang Kapas, Ranah Pesisir, Lengayang, dan Sutera menjadi daerah terparah yang terkena terjangan banjir, dengan kecamatan Lengayang merupakan kecamatan terparah, hingga menyebabkan tiga warganya hilang di bawa arus banjir.



Gambar 1. Sebagian wilayah Kabupaten Pesisir Selatan yang parah diterjang banjir pada tanggal 2-3 Nopember 2011. (sumber image : google earth)

Gambar 1 merupakan sebagian wilayah kabupaten Pesisir Selatan bagian selatan yang terkena bencana banjir relative parah, yaitu Kecamatan Lengayang, Kecamatan Linggo Sari Baganti, Kecamatan Pacung Soal dan Kecamatan Lunang Silaut dengan rincian kerugian baik jiwa, harta maupun bangunan/infrastruktur seperti terlihat pada Table 1a dan 1b. Secara keseluruhan banjir kali ini menyebabkan 6 orang warga masyarakat meninggal karena hanyut dan lebih dari 50 ribu orang mengungsi saat banjir terjadi. Selain itu banjir juga merendam ribuan rumah, 305 hektar lahan pertanian, dan 1.163

hektar lahan perkebunan dan ribuan hewan ternak hanyut. Kerugian infrastruktur diantaranya 9 dari 27 sekolah dan 11 bendungan yang terendam banjir rusak berat, 6 jembatan putus, dimana dua diantaranya merupakan jembatan gantung. Sepanjang 3 kilometer jalan kabupaten dan 890 meter Jalan Lintas Sumatera yang menghubungkan Sumatera Barat dengan Bengkulu menjadi rusak parah, sehingga memutus arus transportasi dari Sumatera Barat ke Bengkulu dan sebaliknya. Kerugian materi akibat banjir di kabupaten Pesisir Selatan kali ini diperkirakan mencapai Rp 650 miliar. (BPBD Kab. Pessel, 2011)

Tabel 1a. Kerugian sebagian masyarakat Kabupaten Pesisir Selatan akibat banjir yang terjadi pada tanggal 2 dan 3 Nopember 2011.

No.	Kecamatan	Manusia		Rumah		Sawah (Ha)	Kebun (Ha)	Ternak (ekor)		
		Mnggl	Hilng	RB	RR			Sapi	Kerbau	Kambing
1.	Lengayang	1	2	59	1405	45	--	111	8	89
2.	Linggo Sari	3		39	1781	13	25	67	--	47
3.	Pancung. S	--	--	77	136	16	1284	21	5	230
4.	Lunang. S	--	--	--	1348	--	105	--	--	35

Tabel 1b. Kerusakan sarana umum dan infrastruktur di sebagian wilayah Kabupaten Pesisir Selatan akibat banjir yang terjadi pada tanggal 2 dan 3 Nopember 2011.

No.	Kecamatan	Sekolah		Kantor		Masjid		Jembatan		Jalan (meter)		Irigasi (unit)
		RB	RR	RB	RR	RB	RR	RB	RR	Negara	Kab	
1.	Lengayang	2	4	--	--	6	--	2	--	200	200	3
2.	Linggo Sari	--	18	--	--	1	6	5	--	--	--	--
3.	Pancung S	--	1	--	--	--	4	1	2	--	3	1
4.	Lunang S	--	1	--	--	--	5	1	--	--	--	--

Keterangan:

RR : Rusak Ringan

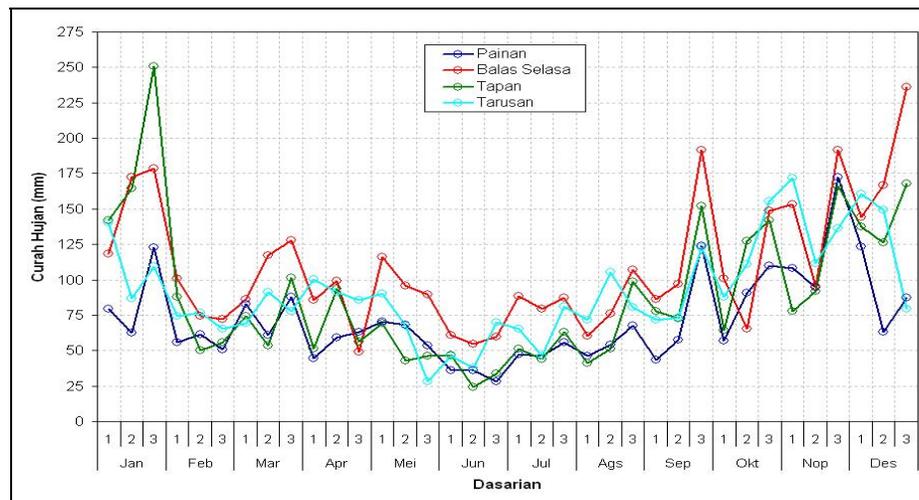
RB : Rusak Berat

Klimatologis hujan Wilayah Pesisir Selatan

Pada Gambar 2a terlihat jumlah curah hujan rata-rata perdasarian hasil pengukuran periode tahun 1990-2000 di pos penakar hujan Painan, Balai Selasa, Tapan dan Tarusan. Pos penakar hujan Tarusan dan Painan terletak agak ke arah utara, sedangkan pos penakar hujan Balai Selasa dan Tapan lebih ke arah selatan dari wilayah banjir terparah. Namun sangat disayangkan pos penakar hujan tidak terdistribusi secara merata dan periode pengamatan yang tidak panjang menyebabkan tidak dapat terdiskripsikan dengan baik kondisi klimatologis hujan di wilayah Pesisir Selatan.

Secara klimatologis, wilayah Pesisir Selatan mempunyai curah hujan tahunan antara 2400-3900 mm, dengan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juni dan tertinggi pada bulan Desember-Januari. Dari gambar 2a setidaknya dapat

diketahui bahwa lama musim kemarau yang terjadi di wilayah tersebut antara 6-10 dasarian, kecuali di Balai Selasa, secara klimatologis tidak mengalami musim kemarau. Dari gambar 2a juga diketahui bahwa jumlah curah hujan dasariaian tidak terdistribusi secara sama pada masing-masing pos penakar hujan, namun secara umum pada periode bulan September-Januari terlihat lebih tinggi dibandingkan pada periode bulan Februari-Agustus. Dari gambar tersebut juga dapat diketahui bahwa jumlah curah hujan di bagian selatan (Balai Selasa dan Tapan) lebih besar dibandingkan di bagian utara (Painan dan Tarusan).

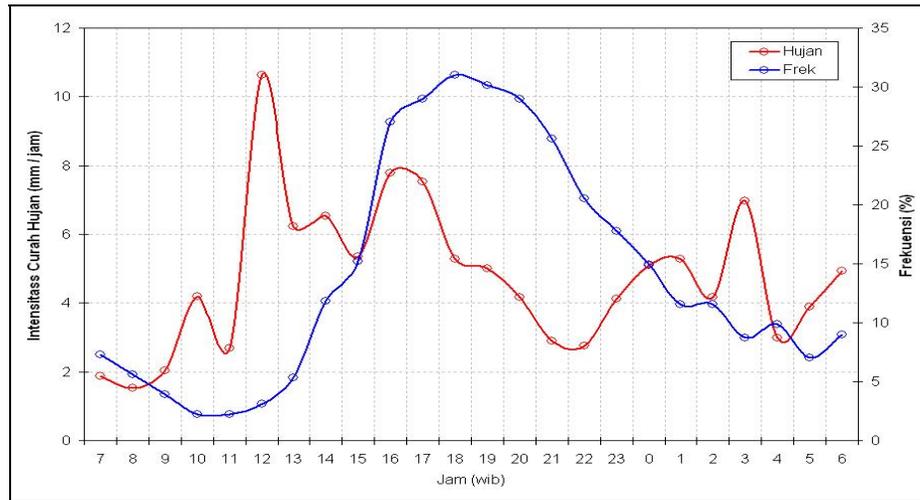


Gambar 2a. Jumlah curah hujan rata-rata per dasarian (periode 1990-2000) pos-pos penakar hujan kerjasama di wilayah Pesisir Selatan.

Sedangkan dari gambar 2b, merupakan hasil pengukuran curah hujan otomatis selama tiga tahun untuk mengetahui jumlah curah hujan dan frekuensi terjadinya hujan setiap jam di sekitar Balai Selasa. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa jumlah curah hujan paling banyak terjadi pada jam 12 wib, dengan jumlah rata-rata sebesar kurang lebih 11 mm, tertinggi kedua sebesar 8 mm terjadi pada jam 16 wib dan tertinggi ketiga sebesar 7 mm terjadi pada jam 3 wib dihari. Pada gambar 2b juga dapat dilihat bahwa di wilayah tersebut hujan paling sering turun pada senja hingga malam hari, antara jam 17-20 wib, dengan frekuensi kejadian sebanyak 30 kali kejadian hujan.

Berkaitan dengan kejadian banjir yang terjadi di wilayah Pesisir selatan pada tanggal 2-3 Nopember tersebut terlihat bahwa wilayah tersebut secara rata-rata sering terjadi hujan (lebat) pada waktu dini hari dengan frekuensi sekitar 10 kali kejadian hujan. Menurut Wu et al (2009), hal ini terjadi karena adanya transefer

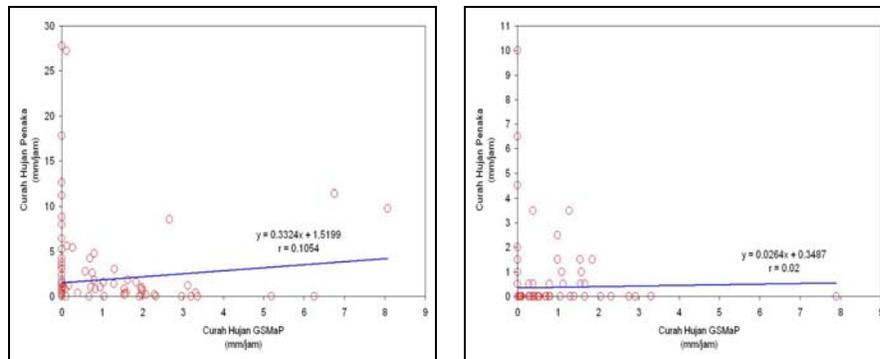
energi thermal dan konvektif dari daratan pulau Sumatera yang bergerak ke arah laut pada malam hari.



Gambar 2b. Jumlah curah hujan dan frekuensi terjadinya hujan rata-rata (periode 2003-2005) di sekitar wilayah Balai Selasa, Pesisir Selatan.

Validasi data GSMaP_NRT

Hasil perbandingan antara data hujan GSMaP_NRT dengan data hujan hasil pengamatan dengan penakar hujan dengan menggunakan data setiap jam, pada tanggal 31 Oktober 2011 sampai 05 Nopember 2011, dengan hasil sebagai berikut: di Bukit Kototabang menghasilkan nilai-nilai statistik: nilai kecocokan (p) sebesar 62.5%, indek korelasi (r) sebesar 0.1054 dan nilai RMSE nya sebesar 4.3 mm. Sedangkan di Batusangkar hasil statistiknya menunjukkan: nilai kecocokan (p) sebesar 70.1%, indek korelasi (r) sebesar 0.02 dan nilai RMSE nya sebesar 1.5 mm, seperti yang terlihat pada Gambar 3a dan 3b.



(a) Bukit Kototabang

(b) Batusangkar

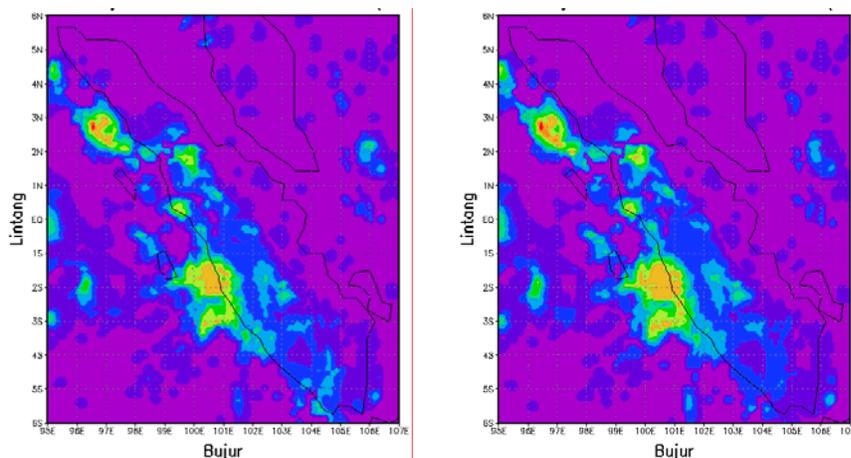
Gambar 3. Hubungan curah hujan hasil pengukuran dengan penakar hujan dan curah hujan pengamatan dengan GSMaP.

Pada kondisi ekstrim seperti curah hujan tinggi, pengukuran curah hujan melalui satelit tidak dapat mencapai keadaan ekstrim seperti yang terukur di permukaan bumi, hal ini disebabkan pengukuran curah hujan secara remote sensing dilakukan tidak secara langsung terhadap air hujan yang terukur alat penakar hujan seperti di permukaan bumi tetapi menggunakan suatu gelombang yang dikonversi ke dalam satuan curah hujan. (Gunawan, 2008)

Namun demikian dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa data curah hujan bulanan hasil pengamatan dengan satelit dan data curah hujan hasil observasi dengan penakar hujan mempunyai kesamaan trend selama abad ke-20 ini. (Klein Tang, et al, 2002)

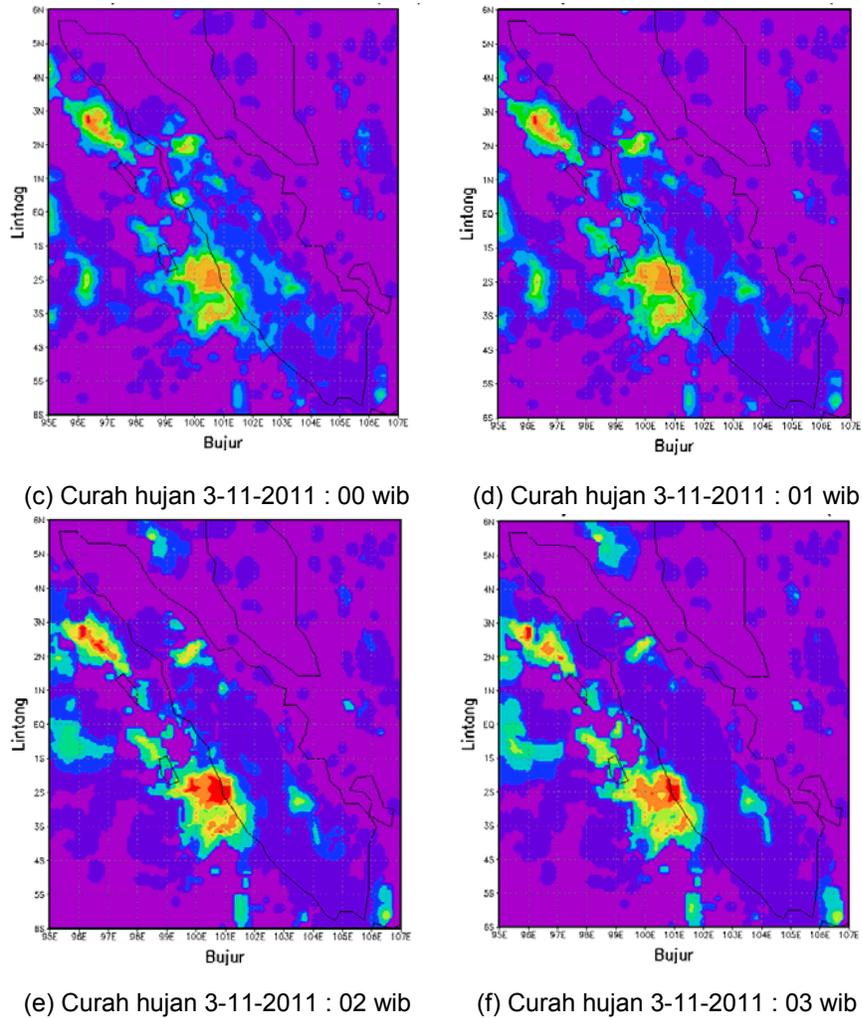
Analisis data GSMaP_NRT

Gambar 4a hingga 4f menunjukkan variasi jumlah curah hujan pada tanggal 2 Nopember 2011 jam 22 wib hingga tanggal 3 Nopember 2011 jam 03 wib di wilayah Pulau Sumatera dengan menggunakan *hourly* data GSMaP_NRT. Dari gambar tersebut terlihat ada dua kelompok citra hujan yang terjadi di wilayah perairan / pantai di sebelah barat Pulau Sumatera. Kelompok citra hujan pertama, dengan ukuran yang lebih kecil terjadi di wilayah perairan / pantai Sumatera Utara. Sedangkan kelompok citra hujan yang kedua, dengan ukuran yang lebih besar terlihat di wilayah perairan / pantai disekitar wilayah kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat. Dari series gambar tersebut terlihat pergerakan / distribusi dan intensitas hujan di wilayah kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat dengan intensitas tertinggi (pixel warna merah) terjadi pada tanggal 03 Nopember 2011 sekitar pukul 02 wib dan 03 wib dini hari.



(a) Curah hujan 2-11-2011 : 22 wib

(b) Curah hujan 2-11-2011 : 23 wib

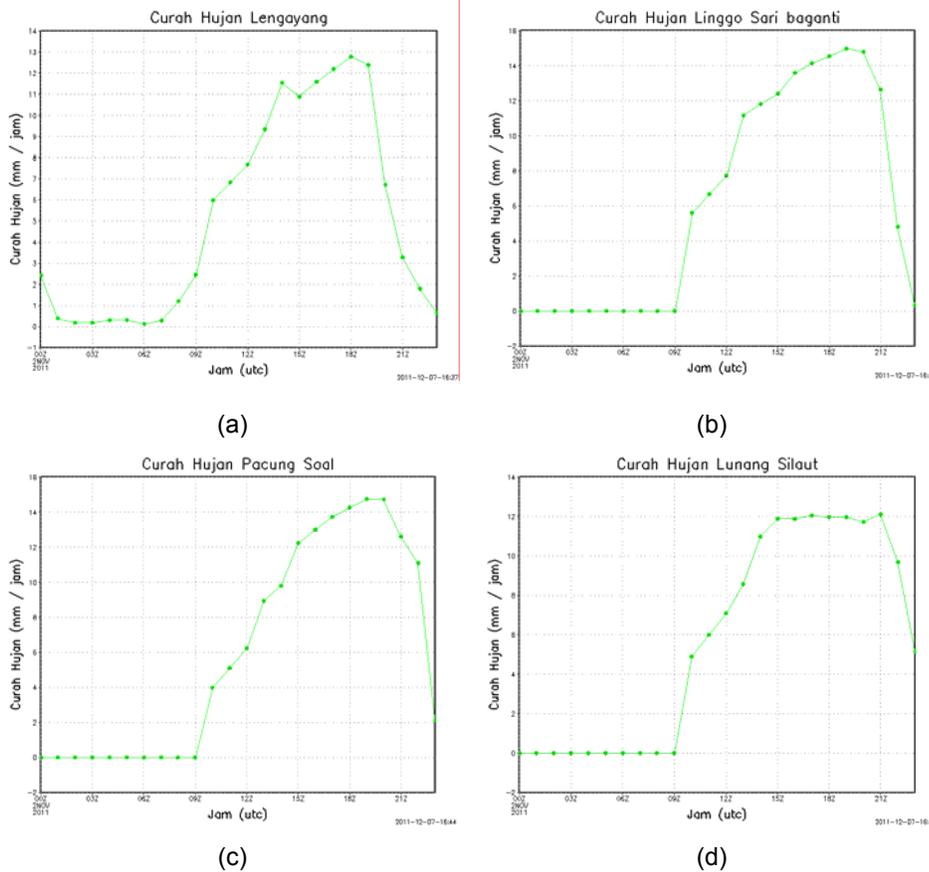


Gambar 4. Curah hujan di Pesisir Selatan pada tanggal 2-3 Nopember 2011

Bila citra hujan dianalisis per titik koordinat atau perlokasi untuk titik-titik lokasi di Lengayang, Linggo Sari Baganti, Pancung Soal dan Lunang Silaut seperti yang terlihat pada Gambar 4 diatas maka hasil analisis-nya seperti terlihat pada Gambar 6a hingga 6d. Dari gambar tersebut didapatkan bahwa puncak hujan di Lengayang sebesar 13 mm/jam yang terjadi pada tanggal 03 Nopember pukul 01 wib Di Linggo Sari Baganti hujan terlebat menuurt data satelit terjadi pada pukul 02 wib pada tanggal 03 Nopember dengan curah hujan sebesar 16 mm/jam. Intensitas hujan yang sama dengan waktu yang sama juga terjadi di Pancung Soal. Sedangkan di Lunang Silaut intensitas hujan yang terjadi relative lebih kecil, yaitu sebesar 12 mm/jam namun terjadi hampir selama 6 jam, mulai pukul 22 wib pada tanggal 02 Nopember hingga pukul 04 wib dini hari pada tanggal 03 Nopember 2011. Akumulasi hujan yang terjadi secara terus menerus

pada lokasi yang sama diduga sebagai penyebab terjadinya banjir di lokasi-lokasi tersebut.

Perlu diketahui bahwa intensitas hujan yang terjadi merupakan hasil pantauan satelit dan belum dilakukan kalibrasi dan validasi dengan menggunakan data observasi sehingga terlihat intensitas hujan yang terjadi relative lebih kecil untuk dapat menyebabkan terjadinya banjir yang besar.



Gambar 5. Curah Hujan di Pesisir Selatan Pada Tanggal 02 Nopember 2011

KESIMPULAN

Dari paparan mengenai terjadinya banjir di Wilayah Pesisir Seltan dan hasil analisis data di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut:

1. Data GSMaP_NRT sangat membantu untuk mengetahui distribusi secara spasial curah hujan setiap jam dengan resolusi yang relative cukup baik sehingga dapat diketahui sebaran terjadinya hujan lebat. Data GSMaP_NRT sangat perlu di-validasi dengan data hujan hasil observasi, mengingat secara kuantitas hujan hasil pantauan satelit relative yang pada umumnya jauh lebih rendah / underestimate terhadap data hujan hasil observasi

2. Banyaknya kerugian yang diakibatkan banjir yang terjadi di Kabupaten Pesisir Selatan diduga karena hujan yang terjadi pada malam menjelang dini hari. Data GSMaP_NRT dapat digunakan sebagai data alternative untuk memberikan peringatan dini kepada masyarakat akan terjadinya hujan lebat, yaitu pada lokasi-lokasi yang tidak terdapat pengukuran curah hujan, khususnya pengukuran curah hujan setiap jam

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011. Data Kerugian Korban Banjir Pesisir Selatan, Update Tanggal 08 Nopember 2011. Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Pesisir Selatan.
- Anonim. 2011. Sumbar Dikepung Bencana, Pessel Terparah. Harian Umum Padang Ekspres, Jumat 04 Nopember 2011.
- Anonim. 2011. User's Guide for Global Rainfall Map in Near-Real-Time (GSMaP_NRT). Versi 2.2. Earth Observation Research Centre (EORC). Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
- Asai, T. 1992. Heavy Rainfall During Rainy Season (Baiu) in Japan. Proceedings of the International Symposium on Aqua and Planet. 159-168.
- Gunawan, D. 2008. Perbandingan Curah Hujan Bulanan Dari Data Pengamatan Permukaan Satelit TRMM Dan Model Permukaan NOAA. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol.9, No.1, Juli 2008.
- Klein Tang, A.M.G., et al., 2002. Daily Dataset of 20th Century Air Temperature and Precipitation Series for The European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.*, 22, 1441-1453
- R.R. Kelkar. 2007. Satellite Meteorology. BS Publications. Hyderabad, India.
- Sasmito, A., A. Satyaning, dan M.N. Habibie. 2009. Analisa Banjir Muara Batang Gadis Mandailing Natal. Buletin MEGASAINS, Vol.1 No.1. 37-44. Maret 2010.
- Stanski, H.R., L.J. Wilson, and W.R. Burrows. 1989. Survey Of Common Verification Methods In Meteorology. Research Report No.(MSRB) 89-5. Atmospheric Environment Service, Forecast Research Devision, 4095 Dufferin Street, Downview, Ontario, Canada. 2nd Edition.
- Wirjohamidjojo. S., dan Y.S. Swarinoto. 2010. Iklim Kawasan Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Wu, P., M. Hara, J. Hamada, M.D. Yamanaka and F. Kimura. 2009. Why a Large Amount of Rain Falls over the Sea in the Vicinity of Western Sumatra Island during Nighttime. *Jurnal American Meteorological Society*. 1345-1361. July 2009.

KONDISI KUALITAS UDARA BUKIT KOTOTABANG TAHUN 2011

Alberth Christian Nahas dan Sugeng Nugroho
Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

ABSTRAK

Kondisi kualitas udara di Bukit Kototabang tahun 2011 dinilai dengan tolok ukur Indeks Standard Pencemaran Udara (ISPU) menggunakan tiga parameter kualitas udara hasil monitoring di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, yaitu: ozon permukaan (O_3), karbonmonoksida (CO) dan aerosol PM_{10} . Ketiga parameter tersebut kemudian dikonversi kedalam ISPU. Hasilnya menunjukkan bahwa kualitas udara di Bukit Kotobang sangat dipengaruhi oleh kondisi curah hujan, jumlah titik api dan arah angin. Selama periode tersebut, aerosol PM_{10} merupakan parameter dominan yang mempengaruhi kualitas udara di Bukit Kototabang, dengan konsentrasi dan ISPU tertinggi yang terjadi pada bulan Juli-September. Secara umum kondisi kualitas udara di Bukit Kototabang berada dalam kondisi "Baik" (98%) dan "Sedang" (2%).

Kata Kunci: ISPU, Kualitas Udara, Bukit Kototabang

PENDAHULUAN

Sebagai stasiun referensi udara bersih di Indonesia, Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang - yang selanjutnya disebut sebagai Stasiun - dipandang memiliki kualitas udara yang baik. Berlokasi pada ketinggian 864.5 m dari permukaan laut pada daerah perbukitan dengan aktivitas antropogenik yang minimum, Stasiun ini dianggap sangat cocok untuk menggambarkan kondisi kualitas udara untuk daerah yang jauh dari sumber emisi polutan udara (daerah *background*). Dalam perspektif global dan regional, daerah *background* merujuk pada suatu daerah yang kondisi atmosfernya tidak dipengaruhi oleh sumber-sumber emisi antropogenik lokal dan regional (Pochanart *et al.*, 2003). Namun demikian, dalam perkembangannya, daerah di sekitar Stasiun tidak luput dari terjadinya perubahan-perubahan, baik berskala lokal dan regional. Perubahan fungsi lahan, peningkatan volume transportasi, dan kebakaran hutan merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas udara di Bukit Kototabang. Beberapa jenis polutan udara yang rentan terhadap faktor-faktor di atas antara lain ozon permukaan (O_3), karbon monoksida (CO), dan aerosol PM_{10} .

Salah satu tolok ukur yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kualitas udara di suatu daerah di Indonesia adalah dengan menggunakan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Berdasarkan PP No. 41 Tahun 1999

tentang Pengendalian Pencemaran Udara, ISPU didefinisikan sebagai angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Meskipun nilai ISPU lebih tepat digunakan untuk daerah urban, pada prinsipnya nilai ini dapat diterapkan ke semua tipe wilayah. Parameter-parameter yang digunakan dalam penentuan nilai ISPU dituangkan dalam Lampiran Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemaran Udara (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter dasar untuk pengukuran ISPU dan periode waktu pengukurannya.

No.	Parameter	Waktu Pengukuran (Rata-rata)
1.	Partikulat (PM ₁₀)	24 jam
2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	24 jam
3.	Karbon Monoksida (CO)	8 jam
4.	Ozon (O ₃)	1 jam
5.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam

Sumber: Lampiran Kep. Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997.

Hasil perhitungan nilai ISPU digunakan untuk melakukan kategorisasi kondisi kualitas udara di suatu tempat. Kualifikasi tersebut didasarkan pada nilai ISPU dari parameter pencemar utama. Kualifikasi kondisi kualitas udara tersebut dirangkum dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kategori kualitas udara berdasarkan nilai ISPU

ISPU	Kategori
1 – 50	Baik
51 – 100	Sedang
101 – 199	Tidak Sehat
200 – 299	Sangat Tidak Sehat
> 300	Berbahaya

Sumber: Lampiran Kep. Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997.

Seluruh parameter yang diperhitungkan dalam penentuan nilai ISPU telah diukur di Stasiun. Pengukuran parameter tersebut dilakukan dengan dua metode, yaitu metode *monitoring* dan metode *sampling*. *Monitoring* dilakukan dengan menggunakan instrumen yang mengukur konsentrasi gas secara kontinu. Pembacaan hasil pengukuran ditampilkan secara *near real time*. Metode *sampling* dilakukan dengan menggunakan filter yang telah dipreparasi sebelumnya. Periode *sampling* telah ditentukan dan analisis hasil *sampling* dilakukan setelah proses *sampling* selesai dilakukan. Di Stasiun, seluruh gas

telah diukur secara *monitoring* sedangkan untuk SO₂ dan NO₂ juga dilakukan *sampling*.

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk memberikan suatu gambaran kondisi kualitas udara di Bukit Kototabang pada tahun 2011. Kondisi tersebut dikuantifikasi dengan menggunakan nilai ISPU dari beberapa parameter. Dari seluruh parameter ISPU hanya tiga parameter saja yang diperhitungkan. Hal ini didasarkan karena ketiga parameter tersebut memiliki kontribusi yang lebih besar dalam mempengaruhi ISPU, sedangkan parameter yang lainnya, yaitu SO₂ dan NO₂, dari hasil pengukuran yang diperoleh, konsentrasi gas SO₂ dan NO₂ yang terukur di Bukit Kototabang relatif kecil sehingga kontribusinya dalam penentuan ISPU tidak signifikan.

METODE PENELITIAN

Lokasi

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Bukit Kototabang terletak di suatu bukit dengan ketinggian 864.5 m dpl pada posisi koordinat 0°12'0" LS dan 100°19'19" BT. Pada radius 3 hingga 5 km dari titik koordinat, bukit tersebut merupakan bukit yang tertinggi dengan kondisi topografi di lingkungan sekitarnya berbukit-bukit. Kondisi iklim yang tercatat di Stasiun periode 1997-2009 menunjukkan: suhu udara rata-rata 21.5-22.7°C, kelembaban udara rata-rata 86.7-91.3%, arah angin dominan berasal dari tenggara (22.9%), timur (13.4%), selatan (8.3%) dan kondisi angin tenang sebesar 42.6% dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 0.59 m/s (Nugroho, 2010).

Data

Data yang digunakan dalam tulisan ini adalah data konsentrasi O₃, CO, dan PM₁₀, curah hujan di Bukit Kototabang, serta data jumlah titik api di Pulau Sumatra pada tahun 2011 dengan resolusi yang disesuaikan menurut keperluan analisis. Data O₃, CO, dan PM₁₀ yang digunakan adalah data hasil *monitoring* di Bukit Kototabang.

- Ozon permukaan (O₃)

Pengukuran ozon permukaan dilakukan dengan menggunakan instrumen TEI Tipe 49C *Ozone Analyzer*. Detail mengenai metode pengukuran dan hasil pengukuran beserta koreksinya ini dapat dilihat pada publikasi lain (misalnya: Klausen *et al.*, 2003; Ilahi, 2010). Resolusi data dibuat menjadi agregat per jam untuk selanjutnya diproses sesuai dengan keperluan perhitungan nilai ISPU. Luaran data konsentrasi O₃ memiliki satuan *parts per billion* (ppb).

- Karbon monoksida (CO)

Data hasil pengukuran karbon monoksida diperoleh dari instrumen TEI 48C CO Analyzer (2005-2007) dan HORIBA APMA360 CO Analyzer (2007-2010). Kedua instrumen menggunakan metode *Non-Dispersive Infra Red (NDIR) Spectroscopy*. Konsentrasi CO dihitung berdasarkan kompensasi pengurangan intensitas cahaya berdasarkan prinsip Beer-Lambert. Resolusi data yang dihasilkan kemudian diolah menjadi agregat per jam untuk diproses lebih lanjut sesuai dengan keperluan perhitungan nilai ISPU. Luaran data konsentrasi CO memiliki satuan ppb.

- Aerosol PM₁₀

Aerosol PM₁₀ diukur dengan menggunakan instrumen BAM1020. Instrumen ini bekerja berdasarkan prinsip pelemahan partikel beta yang melalui materi padatan yang dikumpulkan dalam pita filter yang terbuat dari fiber. Materi padatan yang terkumpul dalam filter fiber tidak lain adalah PM₁₀ dalam satu volume udara ambien yang dihisap oleh pompa. Konsentrasi PM₁₀ juga ditentukan dari kompensasi pengurangan intensitas cahaya berdasarkan prinsip Beer-Lambert. Data yang dihasilkan oleh instrumen ini sudah dalam resolusi per jam. Luaran data konsentrasi PM₁₀ memiliki satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh dari *Mobile Automatic Weather Station (MAWS) Vaisala Tipe 201* (2009-2010), serta penakar hujan obs untuk data yang tidak tersedia dari MAWS. Resolusi data yang digunakan adalah jumlah bulanan.

- Titik Api

Data jumlah titik api diambil dari database Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. Data yang digunakan hanya jumlah titik api untuk Pulau Sumatera sebagai sumber emisi terdekat yang berada di sekitar Bukit Kototabang. Resolusi data yang digunakan seperti yang disediakan oleh database adalah data harian. Jumlah dan rerata bulanan digunakan berdasarkan data harian tersebut.

Pengolahan Data

- Koreksi data

Untuk menghitung nilai ISPU, seluruh data konsentrasi O₃, CO, dan PM₁₀ dikoreksi pada keadaan STP (temperatur udara 25 C dan tekanan udara 1 atm). Koreksi tersebut dihitung dengan Persamaan (1) berikut:

$$X_1 = \frac{T_0}{T_1} \times \frac{P_1}{P_0} \times X_0 \quad (1)$$

dengan:

X₀ = konsentrasi awal

- X₁ = konsentrasi terkoreksi
- T₀ = temperatur udara STP (K)
- T₁ = temperatur udara rata-rata (K)
- p₀ = tekanan udara STP (Pa)
- p₁ = tekanan udara rata-rata (Pa)

Temperatur dan tekanan udara rata-rata yang digunakan adalah rata-rata periode 2005-2010. Konsentrasi yang digunakan dalam perhitungan ISPU adalah µg/m³ sehingga data O₃ dan CO harus dikonversi terlebih dahulu menurut Persamaan (2) berikut:

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{p \times Mr}{R \times T} \times \frac{\text{ppb}}{1000} \quad (2)$$

dengan:

- p = tekanan udara (Pascal)
- Mr = massa molekul relatif (g/mol)
- R = konstanta gas ideal (8.314 N m mol⁻¹ K⁻¹)
- T = temperatur udara (Kelvin)

Untuk persamaan ini, nilai p dan T digunakan pada kondisi STP.

▪ Perhitungan nilai ISPU

Perhitungan nilai ISPU mengacu pada Tabel 3 yang memuat nilai batas atas tiap level Indeks Standar Pencemaran Udara dalam satuan SI.

Tabel 3. Batas Atas Indeks Standar Pencemaran Udara dalam Satuan SI.

ISPU	1 jam O ₃ µg/m ³	8 jam CO µg/m ³	24 jam PM ₁₀ µg/m ³
0	0	0	0
50	120	5	50
100	235	10	150
200	400	17	350
300	800	34	420
400	1000	46	500
500	1200	57.5	600

Sumber: Lampiran Kep. Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997 (nilai 0 disisipkan dalam tabel untuk mempermudah pemahaman dalam perhitungan).

Periode paparan seperti yang disebutkan dalam Tabel 1 menentukan resolusi data yang digunakan dalam perhitungan. Untuk O_3 , data yang digunakan dalam perhitungan adalah nilai maksimum dari rata-rata per jam dalam satu hari. Data konsentrasi CO yang digunakan dalam perhitungan dipilih dari nilai maksimum dari rata-rata per 8 jam dalam satu hari. Data rerata per jam konsentrasi CO ke dalam 3 rentang waktu, yaitu pukul 00.00 – 07.00, pukul 08.00 – 15.00, dan pukul 16.00 – 23.00. Dari ketiga rentang waktu tersebut, data pada rentang waktu yang memiliki nilai tertinggi yang digunakan dalam perhitungan. Sementara itu, rerata harian konsentrasi PM_{10} digunakan dalam perhitungan. Konversi tiap parameter menjadi nilai ISPU dihitung berdasarkan Persamaan 3 berikut:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b \quad (3)$$

dengan:

I	= ISPU terhitung
I_a	= ISPU batas atas
I_b	= ISPU batas bawah
X_a	= ambien batas atas
X_b	= ambien batas bawah
X_x	= konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran

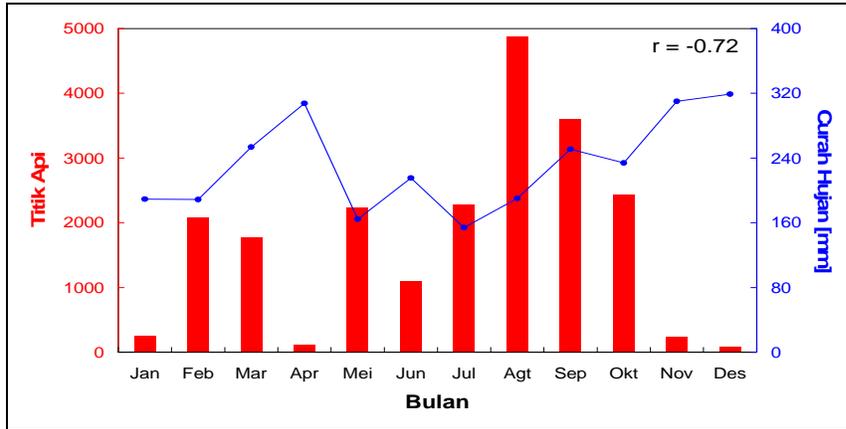
Nilai I_a dan I_b merupakan nilai ISPU di mana X_x berada di kisaran X_a dan X_b . Sebagai contoh, jika konsentrasi PM_{10} sebesar $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, perhitungan ISPU menggunakan I_a dan I_b berturut-turut sebesar 200 dan 100 karena konsentrasi PM_{10} berada di kisaran $150\text{-}350 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Dinamika Atmosfer

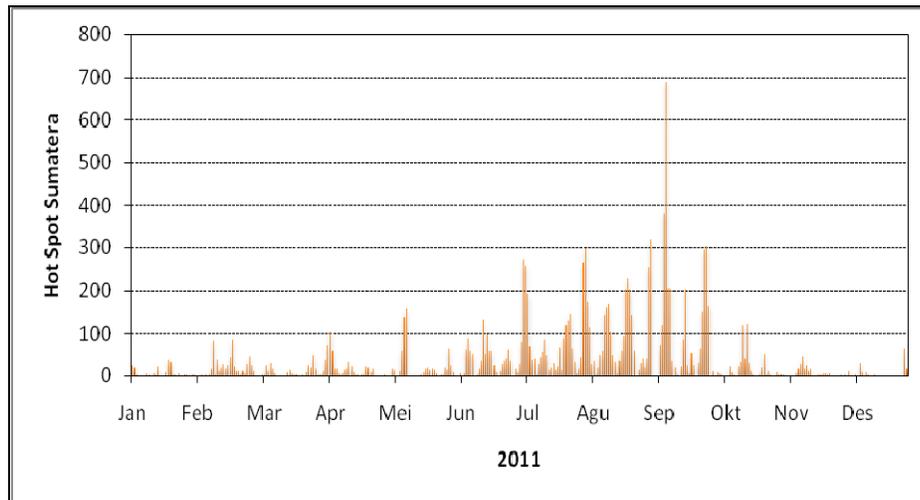
Rata-rata bulanan jumlah titik api di sekitar Pulau Sumatera dan curah hujan di Bukit Kototabang periode 2005-2010 ditampilkan pada Gambar 2a. Pada gambar tersebut terlihat bahwa jumlah titik api dan curah hujan memiliki korelasi yang cukup kuat ($r = -0.72$). Bukit Kototabang dengan pola curah hujan ekuatorial memiliki dua puncak curah hujan yang pada periode 2005-2010 berada di bulan Maret/April dan November/Desember. Pada bulan-bulan tersebut, hanya sedikit titik api yang terpantau di Pulau Sumatera. Sebaliknya, pada bulan di mana jumlah curah hujan yang terukur rendah, yaitu bulan Mei-

Agustus, titik api yang terpantau di Pulau Sumatera jauh lebih banyak. Bulan Februari-Maret dan Agustus-Oktober merupakan dua periode di mana jumlah titik api paling banyak terpantau. Kondisi ini akan memiliki pengaruh pada kualitas udara di Bukit Kototabang. (Nahas, 2011)

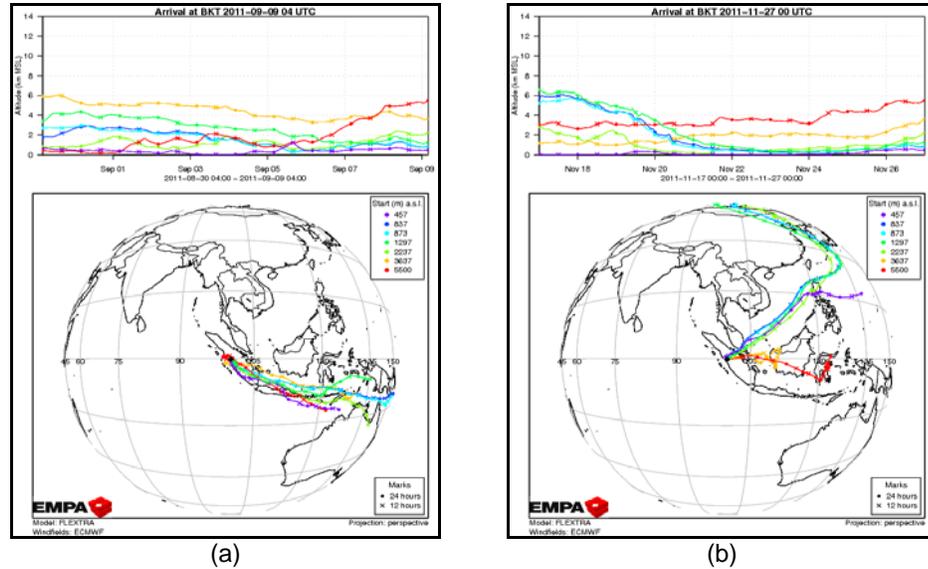


Gambar 2a. Rata-rata bulanan jumlah titik api di Pulau Sumatera dan curah hujan di Bukit Kototabang periode 2005-2010.

Sementara Gambar 2b memperlihatkan jumlah titik api di Pulau Sumatera pada tahun 2011, dimana pada periode Juni-Oktober 2011 jumlah titik api di Pulau Sumatera semakin meningkat dan tertinggi terjadi pada bulan September 2011.



Gambar 2b. Jumlah titik api di Pulau Sumatera setiap bulan pada tahun 2011.



Gambar 3. Pola trajectory aliran massa udara yang menuju ke Bukit Kototabang, pada ketinggian 457, 837, 873, 1297, 2237, 3637 dan 5500 m d yang mengarah ke Bukit Kototabang pada (a) Minggu II September dan (b) Minggu IV November.

Gambar 3 merupakan pola trajectory aliran massa udara yang menuju ke Bukit Kototabang masing-masing pada ketinggian 457, 837, 873, 1297, 2237, 3637 dan 5500 meter dari permukaan tanah. Pada gambar (a) merupakan trajectory pola aliran massau dara pada minggu ke-2 bulan September 2011. Terlihat sebagian besar massa udara berasal dari Sumatera bagian selatan, dimana pada saat itu banyak terdapat titik api di wilayah tersebut. Sedangkan gambar (b) merupakan trajectory pola aliran massa udara pada minggu ke-4 bulan Nopember 2011, dimana sebagian besar massa udara bergerak dari arah timur hingga timur laut (wilayah Riau), dimana pada saat itu tidak terdapat titik api di wilayah tersebut.

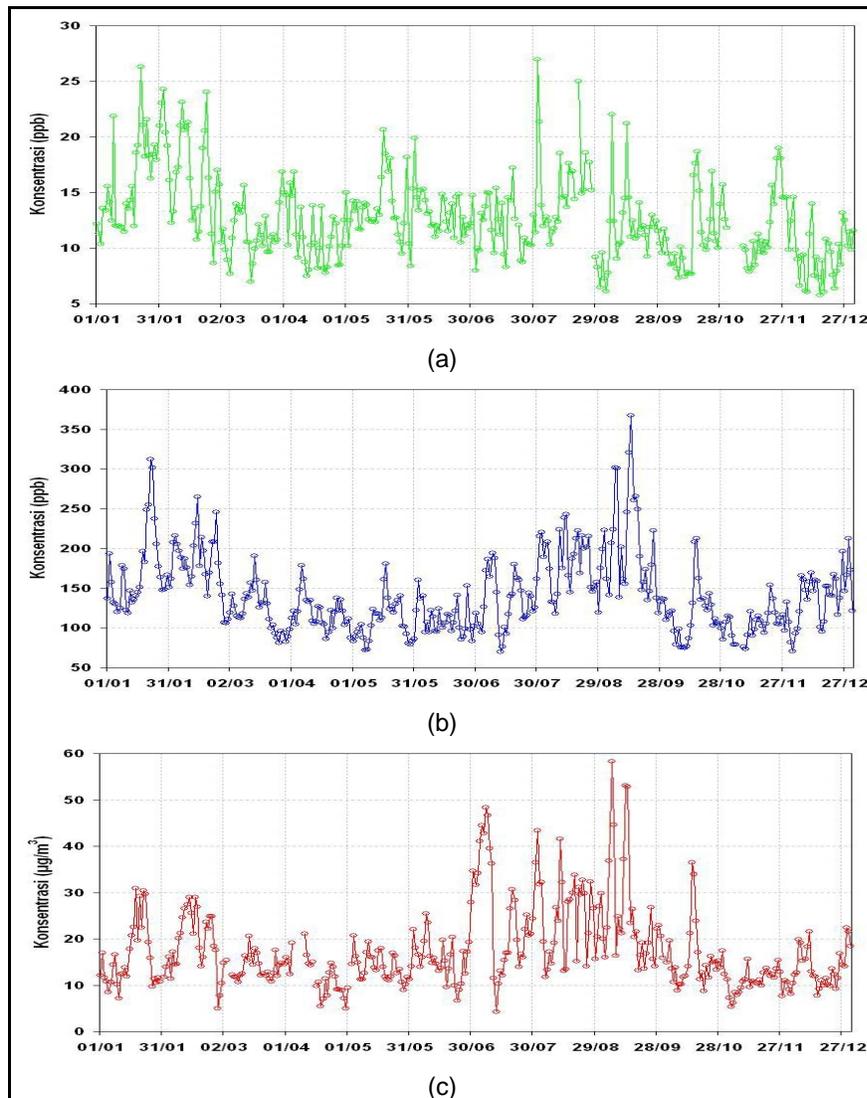
Parameter Kualitas Udara

Kondisi tiga parameter kualitas udara yang terukur di Bukit Kototabang pada tahun 2011 adalah berikut:

- Ozon Permukaan (O_3)

Konsentrasi rata-rata harian dan bulanan O_3 di Bukit Kototabang diperlihatkan pada Gambar 4a(a) dan 4b(a). Konsentrasi rata-rata bulanan O_3 tertinggi terjadi pada bulan Februari, namun dengan variasi data yang sangat besar. Hal ini disebabkan pada bulan tersebut terjadinya kebakaran hutan yang menyebabkan konsentrasi O_3 meningkat signifikan. Sebagian besar konsentrasi harian O_3 yang

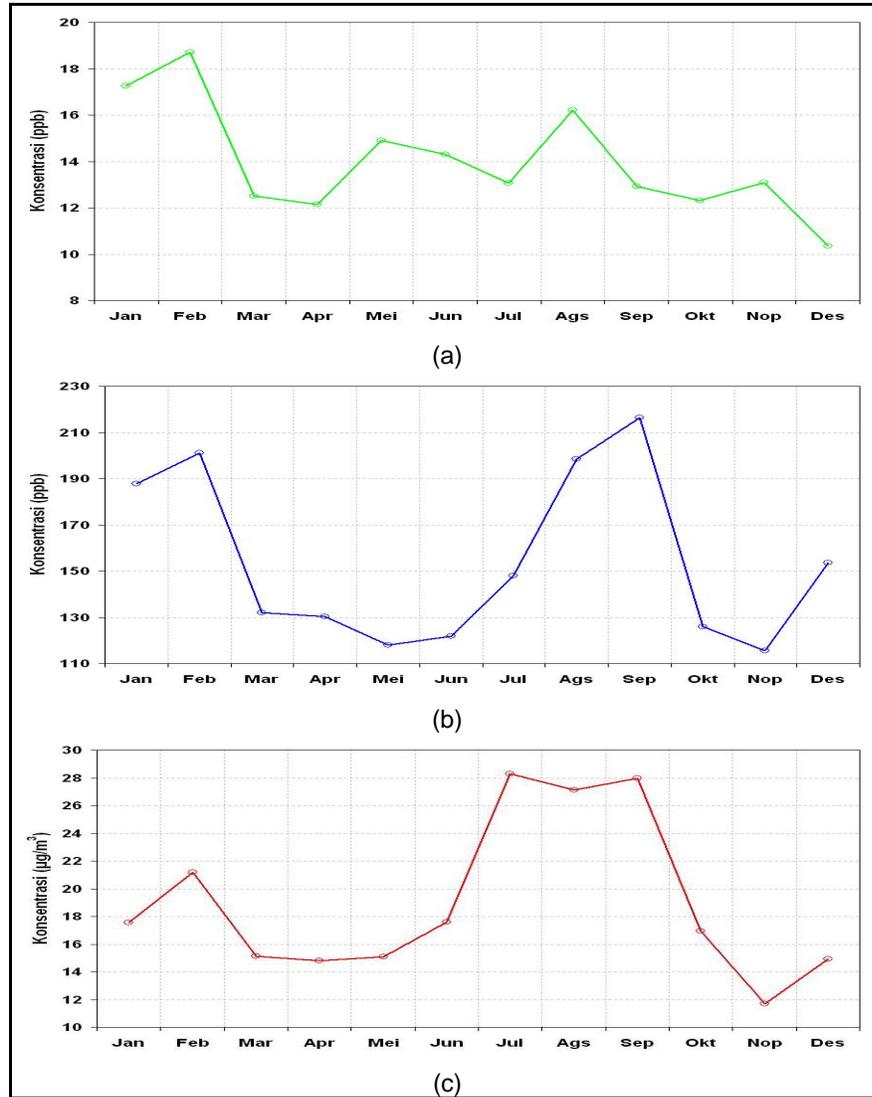
terukur berada dikisaran 10-20. Nilai rata-rata tertinggi di bulan Februari sebesar 18.7 ppb, sedangkan yang terendah di bulan Desember. Sebesar 10.4 ppb



Gambar 4a. Konsentrasi rata-rata harian O₃, CO, dan PM₁₀ di Bukit Kototabang tahun 2011

▪ Karbon Monoksida (CO)

Konsentrasi rata-rata harian dan bulanan CO di Bukit Kototabang diperlihatkan pada Gambar 4a(b) dan 4b(b). Tren konsentrasi rata-rata bulanan CO hampir sama dengan konsentrasi O₃. Bulan-bulan di mana banyak terdapat titik api memiliki rentang dan rata-rata yang lebih besar dibandingkan bulan-bulan lainnya. Nilai rata-rata bulanan tertinggi terjadi pada bulan Februari sebesar 201.0 ppb dan terendah sebesar 115.5 ppb terjadi pada bulan Nopember.



Gambar 4b. Konsentrasi Rata-rata bulanan O₃, CO, dan PM₁₀ di Bukit Kototabang tahun 2011

▪ Aerosol PM₁₀

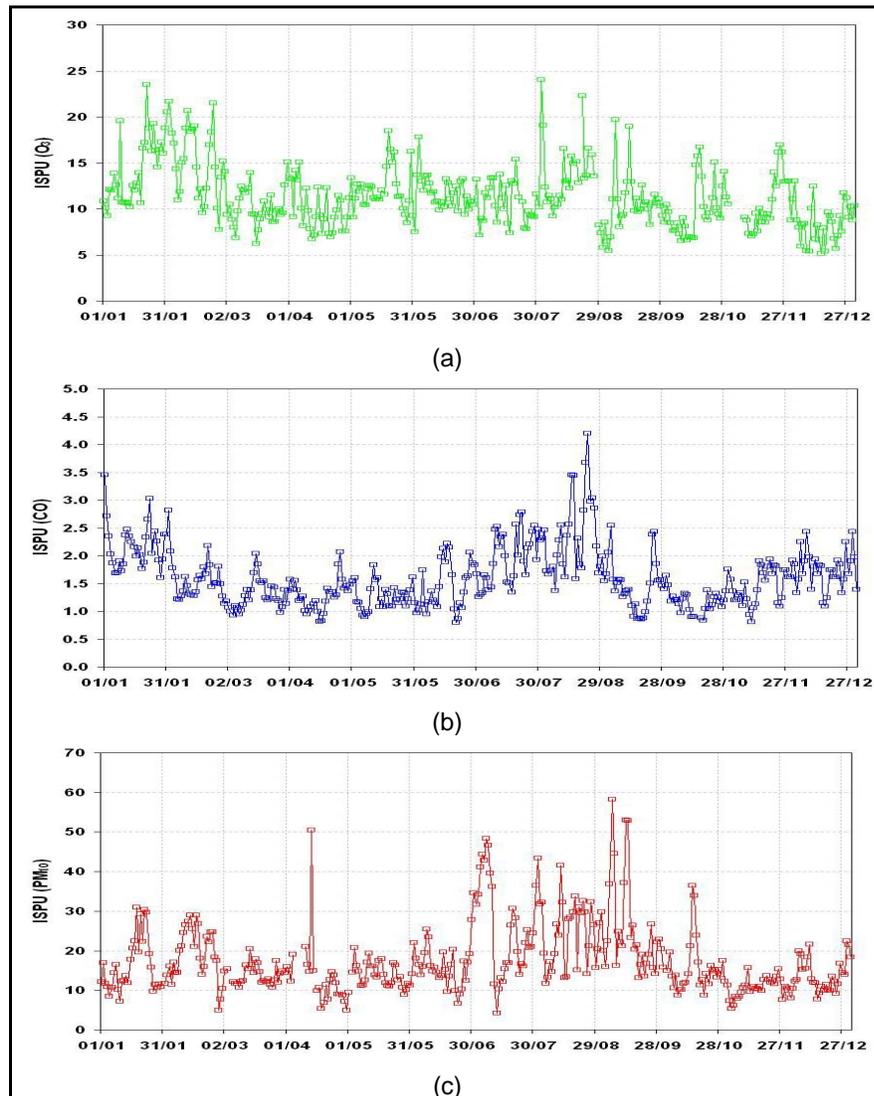
Konsentrasi rata-rata harian dan bulanan PM₁₀ di Bukit Kototabang diperlihatkan pada Gambar 4a(c) dan 4b(c). Trend konsentrasi aerosol PM₁₀ hampir menyerupai trend konsentrasi CO yang sangat responsif terhadap keberadaan titik api. Nilai rata-rata bulanan tertinggi terjadi pada bulan Juli sebesar 28.3 µg/m³ dan terendah sebesar 11.7 µg/m³ terjadi pada bulan Nopember. Dari gambar 4b(c) juga dapat terlihat bahwa pada bulan Juli-September, konsentrasi aerosol PM₁₀ relatif lebih tinggi dibandingkan pada bulan-bulan lainnya.

Gambar 4a dan 4b di atas memperlihatkan adanya kesamaan variabilitas konsentrasi ketiga parameter kualitas udara pada episode kebakaran hutan, dimana terjadi kenaikan konsentrasi yang signifikan pada Juli-September 2011.

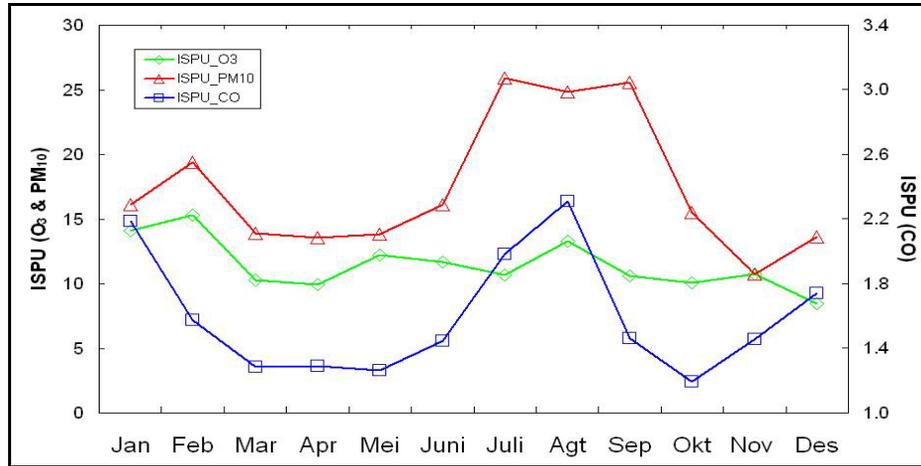
Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa tren konsentrasi O_3 sedikit berbeda dengan konsentrasi CO dan PM_{10} . Konsentrasi CO dan PM_{10} cenderung memiliki variasi yang sama karena kedua parameter ini merupakan produk primer dari hasil pembakaran biomassa. Berbeda dengan O_3 , gas ini merupakan produk sekunder yang dihasilkan dari hasil reaksi prekursor-prekursornya dengan bantuan energi radiasi matahari.(Nahas, 2011). Sementara itu Klausen *et al.* (2008) mengindikasikan bahwa produksi O_3 di Bukit Kototabang dominan terjadi di siang hari dan proses deposisinya terjadi pada malam hari. Energi radiasi matahari menjadi syarat yang vital untuk produksi ozon di troposfer.

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Variasi harian dan bulanan ISPU di Bukit Kototabang untuk pada tahun 2011 diperlihatkan pada Gambar 5a dan 5b berikut.

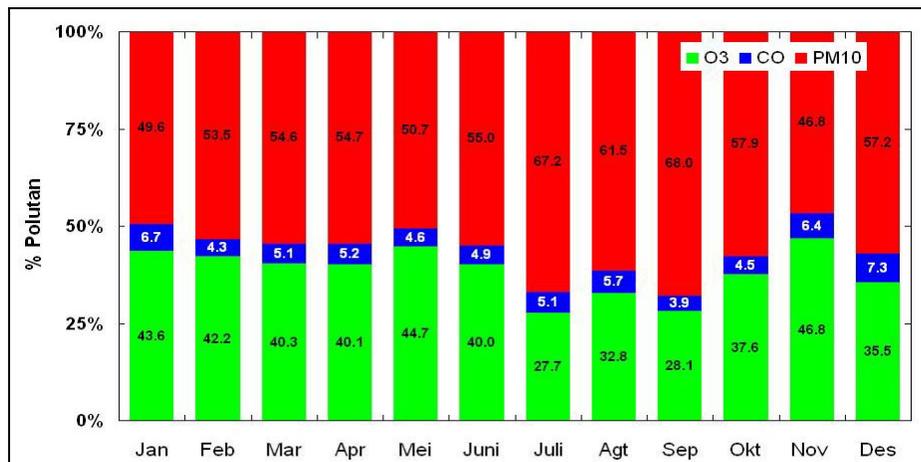


Gambar 5a. Variasi nilai ISPU rata-rata harian di Bukit Kototabang tahun 20110.



Gambar 5b. Variasi nilai ISPU rata-rata bulanan di Bukit Kototabang tahun 20110.

Sejalan dengan yang ditunjukkan dari hasil pengukuran konsentrasi parameter kualitas udara, pada periode bulan Juli-September merupakan bulan yang memiliki nilai ISPU tertinggi, yang mengindikasikan bahwa pada bulan-bulan tersebut, konsentrasi semua parameter kualitas udara mencapai nilai tertinggi. Untuk mengetahui parameter mana yang memberikan kontribusi paling besar pada nilai ISPU per bulan dapat dilihat pada Gambar 6. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa parameter yang paling dominan sebagai polutan adalah aerosol PM₁₀, kemudian diikuti oleh O₃ dan CO. Nilai CO jauh lebih rendah daripada dua parameter lainnya dan prosentase yang paling signifikan pada bulan Desember. Dari gambar tersebut juga diketahui bahwa hanya pada bulan Nopember saja aerosol PM₁₀ tidak menjadi parameter dominan karena pada bulan tersebut prosentase aerosol PM₁₀ sam dengan O₃ dalam memberikan kontribusinya pada ISPU.



Gambar 6. Prosentase kontribusi polutan dari tiga parameter kualitas udara di Bukit Kototabang tahun 2011.

Kondisi kualitas udara Bukit Kototabang periode 2005-2010 berdasarkan data harian menurut kategori ISPU dapat diklasifikasi sebagai berikut:

Tabel 4. Kategorisasi kondisi kualitas udara di Bukit Kototabang berdasarkan data harian tiga parameter kualitas udara tahun 2011

Kategori	Skala	%		
		O ₃	CO	PM ₁₀
Baik	0-50	100	100	98.87
Sedang	51-100	0	0	1.13
Tidak Sehat	101-199	0	0	0
Sangat Tidak Sehat	200-299	0	0	0
Berbahaya	>299	0	0	0

Dari Tabel 4 tersebut dapat dilihat bahwa selama tahun 2011, kondisi kualitas udara di Bukit Kototabang masih tergolong baik. Meskipun dengan berbagai perubahan kondisi atau adanya kejadian kebakaran hutan di sekitar Pulau Sumatera, hasil perhitungan menunjukkan lebih dari 98% data berada pada kategori baik. Kondisi kualitas udara yang mencapai kategori 'Sedang' nilai sangat kecil dan muncul pada saat jumlah titik api yang sangat banyak dan trayektori angin yang membawa polutan mengarah ke Bukit Kototabang.

KESIMPULAN

Kondisi kualitas udara di Bukit Kototabang yang ditinjau dari tiga parameter kualitas udara pada tahun 2011 dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah intensitas curah hujan, jumlah titik api, dan trayektori angin. Dari ketiga faktor tersebut diperoleh temuan bahwa pada periode bulan Juli-September, intensitas curah hujan yang sedang, jumlah titik api yang banyak, dan trayektori angin yang membawa polutan dominan mengarah ke Bukit Kototabang menyebabkan konsentrasi ketiga parameter mencapai nilai maksimumnya. Namun demikian, berdasarkan nilai ISPU, kondisi kualitas udara di Bukit Kototabang masih dalam keadaan yang baik, di mana kurang dari 2% data yang menunjukkan kualitas udara berada pada keadaan sedang. Aerosol PM₁₀ merupakan parameter kualitas udara utama yang menentukan kualitas udara di Bukit Kototabang karena parameter ini memberikan nilai ISPU yang paling besar dan dominan dibandingkan dua parameter lainnya, yaitu berkisar antara 47-68%. Parameter ini sangat dipengaruhi oleh intensitas curah hujan, banyaknya titik api di Pulau Sumatera dan arah angin yang menuju ke Bukit Kototabang.

DAFTAR PUSTAKA

Ilahi, A.F. 2010. Efek Angin terhadap Konsentrasi Polutan Terukur Karbon Monoksida di Bukit Kototabang: Studi Kasus Tanggal 7-24 Pebruari 2010. *Megasains* 1(4): 239-249.

Klausen, J. C. Zellweger, B. Buchmann, and P. Hofer. 2003. Uncertainty and Bias of Surface Ozone Measurements at Selected Global Atmosphere Watch Sites. *J. Geophys. Res.* 108(D19), 4622.

Klausen, J. C. Zellweger, S. Henne, A.F. Ilahi, C. Siregar, Herizal, M. Mimouni, M.S. Ferroudj, J.M. Kariuki, J.O. Aseyo, and B. Buchman. 2008. *Global Atmosphere Watch Activities at Empa*. NOAA ESRL Annual Meeting, Boulder, Colorado.

Nahas, C.N.2011. Kondisi Kualitas Udara Bukit Kototabang Periode 2005-2010. *Megasains* 2(2): 60-73

Nugroho, S. 2010. Verifikasi Data Meteorologi Hasil Luaran Model TAPM di SPAG Bukit Kototabang. *Megasains* 1(3): 167-179.

Pochanart, P., H. Akimoto, Y. Kajii, V.M. Potemkin, and T.V. Khodzher. 2003. Regional Background Ozone and Carbon Monoxide Variations in Remote Siberia/East Asia. *J. Geophys. Res.* 108(D1), 4028.

**EFEK KEBAKARAN HUTAN TERHADAP KUALITAS UDARA
DARI PERSPEKTIF OZON PERMUKAAN DAN KARBON MONOKSIDA
YANG TERUKUR PADA BULAN AGUSTUS, SEPTEMBER DAN
OKTOBER 2011 DI BUKIT KOTOTABANG**

Asep Firman Ilahi

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

ABSTRAK

Analisis Ozon permukaan dan Karbon monoksida terhadap jumlah hotspot yang terpantau di Pulau Sumatera selama tahun 2011 telah dilaksanakan. Terdapat kaitan erat konsentrasi tinggi polutan di atmosfer dengan frekuensi kebakaran yang terpantau melalui satelit NOAA-18 yang diunduh di website National Environmental Agency (NEA) Singapura. Diantara seri data tahunan ozon permukaan dan karbon monoksida, hanya bulan-bulan Agustus sampai Oktober yang mempunyai signifikansi yang menarik atas kenaikan konsentrasi polutan dengan bertambahnya jumlah hotspot di Sumatera. Selama bulan Agustus, September dan Oktober 2011, titik api terpantau masing-masing 2864, 3720 dan 539 telah menaikkan kadar O₃ dan CO atmosfer 2 hingga 3 kali lipat dari normalnya.

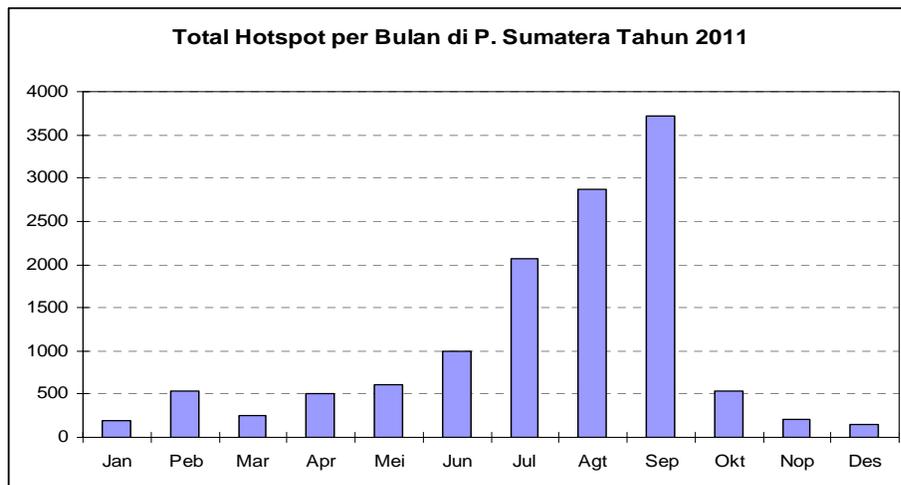
Kata Kunci: Hotspot, karbon monoksida, ozon permukaan, trayektori.

PENDAHULUAN

Pulau Sumatera dengan sisi barat menghadap Samudera Hindia dan sisi Timur yang menghadap Laut Cina Selatan merupakan kawasan strategis dalam perputaran iklim Tropis di Indonesia. Kondisi geografis mayoritas hutan hujan tropis di sekitar pegunungan Bukit Barisan yang membentang dari Aceh sampai Sumatera bagian Selatan. Sementara dataran rendah bagian Barat maupun Timur pulau ini merupakan daerah produktif untuk mengolah hasil pertanian berupa karet, sawit dan palawija lainnya. Pada bulan-bulan kering, kebiasaan petani di Sumatera adalah membakar sisa-sisa pertanian untuk mempersiapkan lahannya dalam masa panen selanjutnya, atau pertanian besar biasanya membakar lahan untuk membuka lahan baru atau membinasakan sisa pertanian sebelumnya. Tak heran tidak kurang 12000 titik api terpantau oleh satelit setiap tahunnya di Pulau Sumatera.

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang sejak tahun 1996 telah mulai merintis memantau kondisi fisis dan kimia atmosfer. Stasiun ini relatif

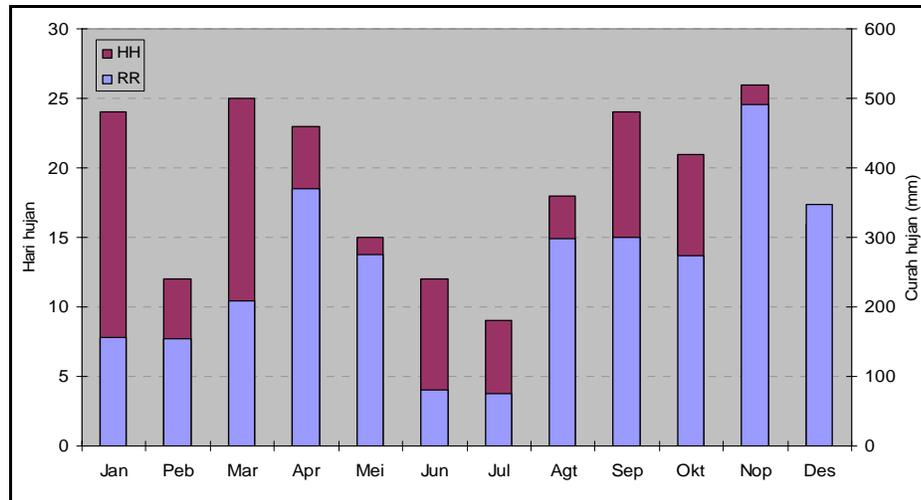
langka di Indonesia dan hanya satu saja dengan tugas dan fungsi memantau udara bersih sebagai referensi kondisi kualitas udara di Indonesia khususnya dan global secara umumnya. Pengamatan / monitoring ozon permukaan sudah dilaksanakan sejak bulan September 2011 hingga sekarang, namun bulan Mei 1999 sampai dengan September 2001 alat ini tidak beroperasi karena terdapat gangguan teknis pada sistem peralatan. Sementara itu, pengamatan karbon monoksida telah dilakukan sejak tahun 2001 hingga saat ini. Dengan bantuan EMPA dalam hal teknis dan gas kalibrasi, sehingga alat ini tetap beroperasi dengan baik hingga saat ini.



Gambar 1. Total Hotspot yang terdeteksi di Pulau Sumatera sepanjang tahun 2011 (sumber: <http://www.weather.gov.sg/wip/web/ASMC/home>)

Selama tahun 2011, *National Environment Agency* (NEA) Singapore melalui olahan satelit NOAA, telah mencatat setidaknya 12.625 titik api yang terdeteksi di pulau Sumatera selama tahun 2011. Distribusi jumlah terbanyak adalah pada bulan September sebanyak 3720 tersebar di pulau Sumatera. Hal ini tentu saja telah memberikan kontribusi buruk terhadap kualitas udara baik di pulau Sumatera sendiri maupun daerah sekitar seperti Malaysia dan Singapura.

Di lain pihak, jumlah curah hujan dan jumlah hari hujan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2, terlihat jumlah kumulatif curah hujan tinggi pada bulan Januari hampir sama dengan Pebruari. Daerah Bukit Kototabang sendiri mempunyai pola hujan ekuatorial dimana terjadi 2 puncak musim hujan yaitu pada bulan April dan Nopember. Tahun 2011 puncak curah hujan pada bulan April sebesar 370.4 mm dengan 23 hari hujan dan Nopember 491.4 mm dengan 26 hari hujan.



Gambar 2. Jumlah curah hujan kumulatif dan jumlah hari hujan di Bukit Kototabang selama tahun 2011

METODA PENELITIAN

Pengolahan Data

Dalam analisis kualitas udara dalam tulisan ini digunakan data karbon monoksida (CO) dan ozon permukaan (O_3) yang beroperasi di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang (100.31 E, 0.2 S, 864.4 m dpl). Sementara untuk melihat pengaruh proses *washout* di atmosfer digunakan data curah hujan. Data kemudian dianalisis dengan jumlah total hotspot harian di pulau Sumatera hasil pantauan dari satelit NOAA-18

Ozon permukaan dipantau dengan alat Thermo Scientific USA model TE 49C dengan durasi pengamatan 1 menit (Januari -Oktober 2011) dan durasi 5-menit (Oktober – Desember). Data yang tercatat direkam dalam internal data logger dan real-time tersimpan dalam harddisk. Teknik pengolahan data didasarkan pada faktor koreksi *true value ozone* sesuai dengan hasil audit WMO-WCC EMPA tahun 2008 untuk periode data Januari hingga Oktober, serta faktor koreksi hasil audit Nopember 2011 untuk data setelah Oktober 2011.

Data karbon monoksida didapatkan dari alat pemantau unsur karbon monoksida permukaan yaitu Horiba APMA360 dengan resolusi data 1-menit yang tercatat secara real-time dan tersimpan dalam harddisk komputer. Data diolah dengan teknik kontrol kualitas data dengan bantuan program DANDI yang terintegrasi dalam software R-for Windows. Data keluaran program ini berupa data rata-rata per-jam untuk selanjutnya disebut data valid karbon monoksida.

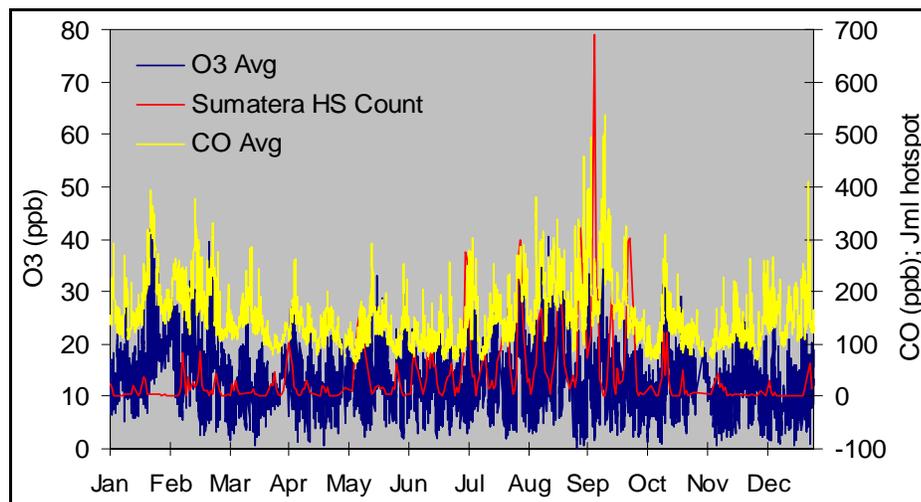
Sementara curah hujan didapatkan dari alat *Mobile Weather Automatic Station* (MAWS) Vaisala yang terpasang di atap / dak alat-alat SPAG Bukit Kototabang. Data tercatat dalam durasi 1-menit dan diolah menjadi rata-rata jam. Curah

hujan harian adalah total akumulasi curah hujan dari jam 0.00 hingga 23.59 WIB. Sementara jumlah hari hujan adalah jumlah hari terjadinya hujan ≥ 0.5 mm yang tercatat oleh logger MAWS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 di bawah ini adalah seri waktu (time series) data ozon permukaan, karbon monoksida dalam durasi 60 menit digabungkan dengan data jumlah hotspot yang terpantau oleh satelit di pulau Sumatera dalam durasi harian selama tahun 2011. Nampak sekilas dari gambar tersebut anomali pergerakan naik turun konsentrasi CO dan O_3 sepanjang tahun serta sepintas terlihat beberapa anomali mungkin disebabkan oleh jumlah hotspot yang terpantau. Pada bulan Januari konsentrasi CO dan O_3 naik pada minggu ke-3 tetapi kurang signifikan apabila dihubungkan dengan jumlah hotspot yang terpantau sedikit di pulau Sumatera. Pada bulan ini angin sangat intens berasal dari Timur Laut menuju ekuator. Polutan dari daratan China dan Indo-China terbawa ke ekuator sebagaimana yang dimaksud dengan long-range transport.

Pada bulan Februari hingga Mei terdapat banyak hotspot di pulau Sumatera serta kondisi angin masih berasal dari Timur Laut. Kondisi polutan terpantau juga terjadi fluktuasi mengikuti jumlah hotspot, namun fluktuasi masih terlihat normal. Sementara itu pada bulan Juli tercatat jumlah hotspot sangat signifikan yaitu 2062 dengan distribusi minggu pertama saja mencapai 910 titik api di pulau Sumatera. Tetapi bulan-bulan berikutnya mempunyai tingkat interest lebih tinggi, dimana jumlah titik api sangat banyak diikuti oleh fluktuasi konsentrasi polutan yang tinggi.



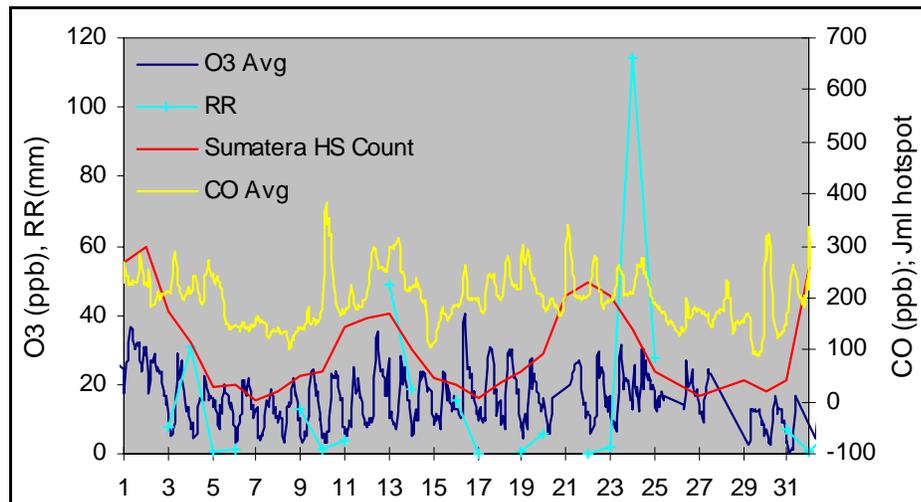
Gambar 3. Grafik ozon permukaan (O_3), karbon monoksida (CO) dan jumlah hotspot tahun 2011 di Bukit Kototabang

Agustus 2011

Bulan Agustus 2011 fluktuasi konsentrasi O_3 dan CO bervariasi terhadap hotspot serta jumlah curah hujan terlihat pada Gambar 4 di bawah ini. Pada minggu awal bulan ini konsentrasi O_3 cenderung turun sementara CO masih terlihat stagnan dan turun pada tanggal 6 dan 7. Hal ini terlihat dari total hotspot terdeteksi turun pada tanggal 3 setelah tanggal sebelumnya tinggi, dan terus hingga akhir minggu pertama Agustus. Terlihat curah hujan juga telah membantu proses penghilangan unsur polutan di atmosfer.

Minggu ke-2 terlihat stagnan pada awalnya, CO terlihat naik secara signifikan pada tanggal 10 sementara O_3 masih terlihat normal. Hal ini berkaitan dengan naiknya total hotspot pada tanggal 10. Tanggal 12 hingga 13 konsentrasi O_3 dan CO bersama-sama naik seiring dengan naiknya total hotspot hingga turun kembali sampai tanggal 15.

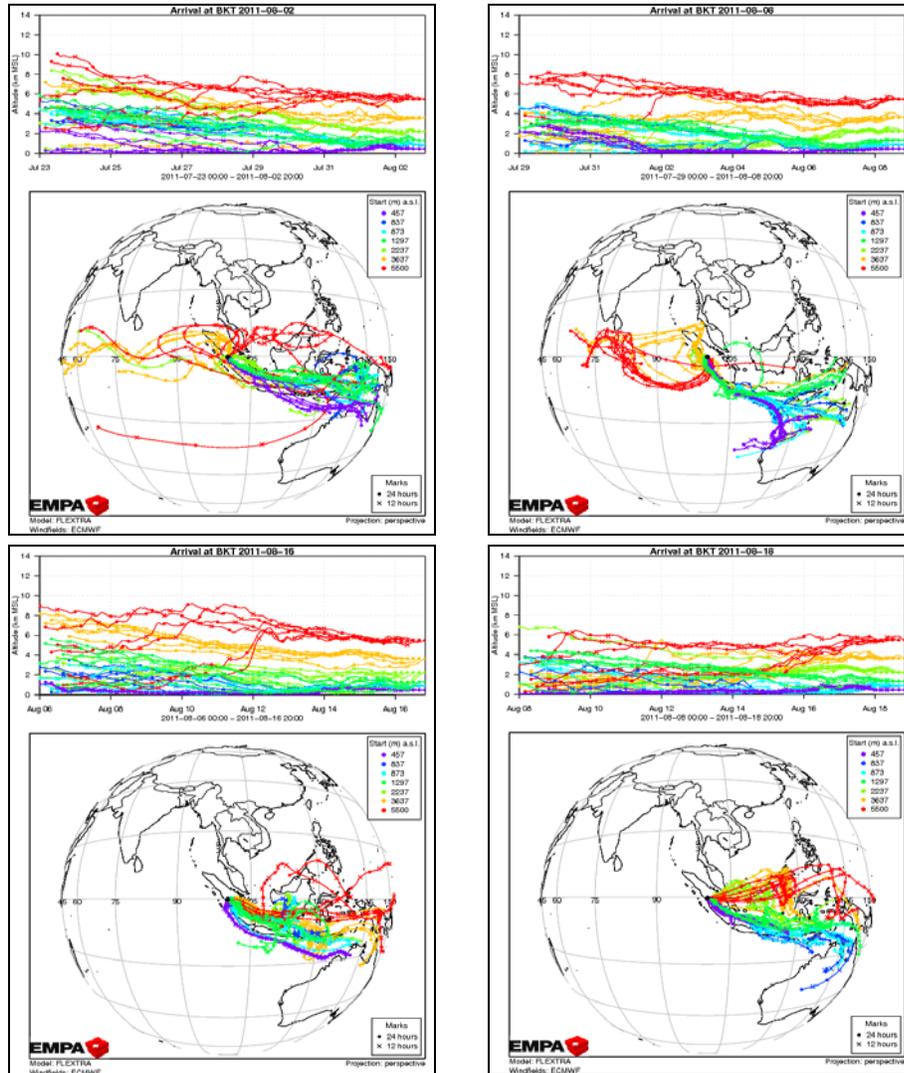
Minggu ke-3 hotspot terdeteksi mulai turun, namun kondisi polutan O_3 dan CO terlihat tetap naik dari rata-rata hari sebelumnya terutama tanggal 16. Kondisi jumlah hotspot kembali naik tanggal 17 hingga akhir minggu ke-3. Sementara itu awal minggu-4 jumlah hotspot masih tetap naik hingga puncaknya tanggal 22 kembali turun. CO dan O_3 terlihat masih tinggi di atmosfer Bukit Kototabang dan terlihat turun setelah hujan dengan intensitas lebat terjadi pada tanggal 24 Agustus dengan akumulasi 114.2 mm.



Gambar 4. Grafik ozon permukaan (O_3), karbon monoksida (CO) dan jumlah hotspot bulan Agustus tahun 2011 di Bukit Kototabang

Gambar jejak masa udara Flextra trajectory yang didapat dari olahan ECMWF wind field oleh EMPA menunjukkan masa udara pada tanggal 2 dan 6 Agustus 5 hari sebelumnya bervariasi berasal dari daerah Tenggara, sementara lapisan

atas berasal dari Timur Laut. Hotspot terdeteksi pada saat itu tersebar di daerah Bengkulu dan Riau serta beberapa terdeteksi di daerah Pesisir Barat. Faktor utama yang menyebabkan turunnya konsentrasi polutan adalah terjadinya hujan yang terpantau pada minggu pertama yaitu sebesar 40.6 mm.

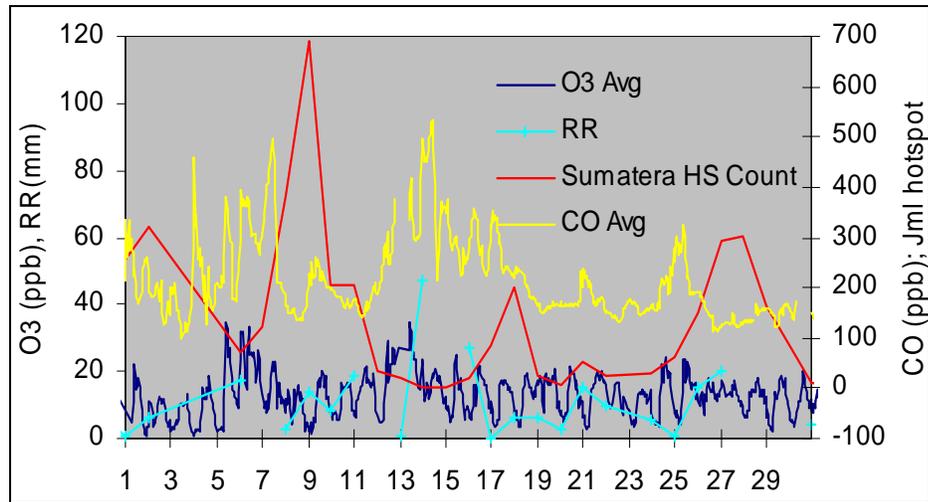


Gambar 5. Analisis kedatangan masa udara dari Flextra Trajectory produk EMPA Switzerland untuk tanggal 2, 8, 16 dan 18 Agustus 2011.

Sementara itu, minggu ke-2 analisis jejak masa udara baik pada lapisan bawah maupun atas terdeteksi didominasi oleh arah angin dari Selatan hingga Timur dari Bukit Kototabang. Polutan terdeteksi tinggi merupakan polutan yang terbawa dari kebakaran lahan di daerah Jambi dan Bengkulu. Kondisi udara buruk ini terhapus oleh curah hujan tinggi pada tanggal 24 Agustus.

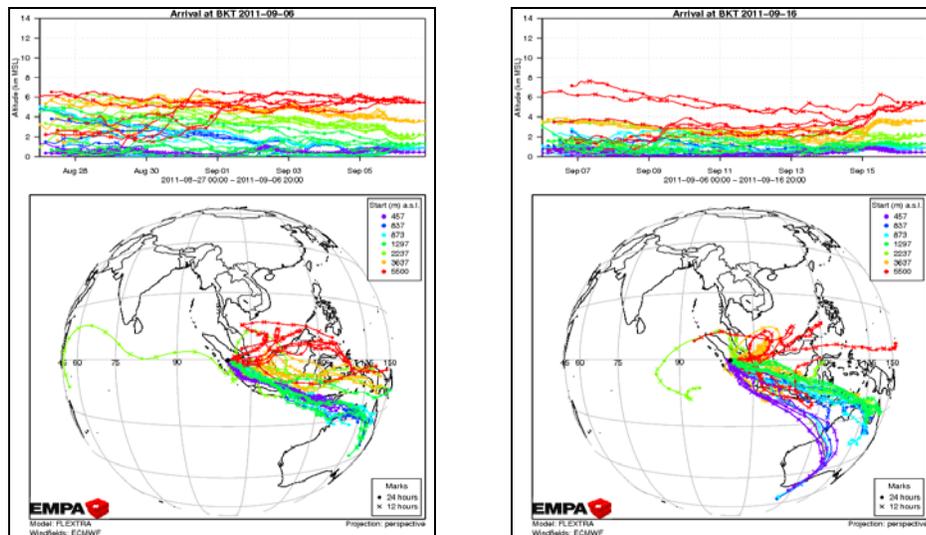
September 2011

Selama bulan September 2011 dapat dikatakan kawasan Sumatera mempunyai kualitas udara terburuk. Karbon monoksida terpantau jauh berada di atas rata-rata tahunan CO yang hanya sebesar 153 ppb dan ozon permukaan dengan rata-rata tahunan 12 ppb. Puncak konsentrasi CO terdeteksi pada tanggal 14 sebesar 535 ppb.



Gambar 6. Grafik ozon permukaan (O₃), karbon monoksida (CO) dan jumlah hotspot bulan September tahun 2011 di Bukit Kototabang

Terdapat keganjilan pada minggu ke-1 dan ke-2 bulan Oktober ini. Minggu pertama CO sudah mulai naik konsentrasinya sejak tanggal 4 sementara O₃ baru naik pada hari berikutnya tetapi bertolak belakang dengan jumlah hotspot terdeteksi pada tanggal 2 tinggi dan 6 turun. Hotspot naik kembali tanggal 7 dan mencapai puncak tertinggi sepanjang tahun 2011 yaitu pada tanggal 9 September 2011 sebanyak 689 titik api di pulau Sumatera. Hal ini dapat diterangkan bahwa pada tanggal 9 – 11 pada saat bersamaan telah terjadi hujan di Bukit Kototabang yang telah membawa polutan di atmosfer ke dalam deposisi basah sehingga polutan tereduksi ke nilai rendah.

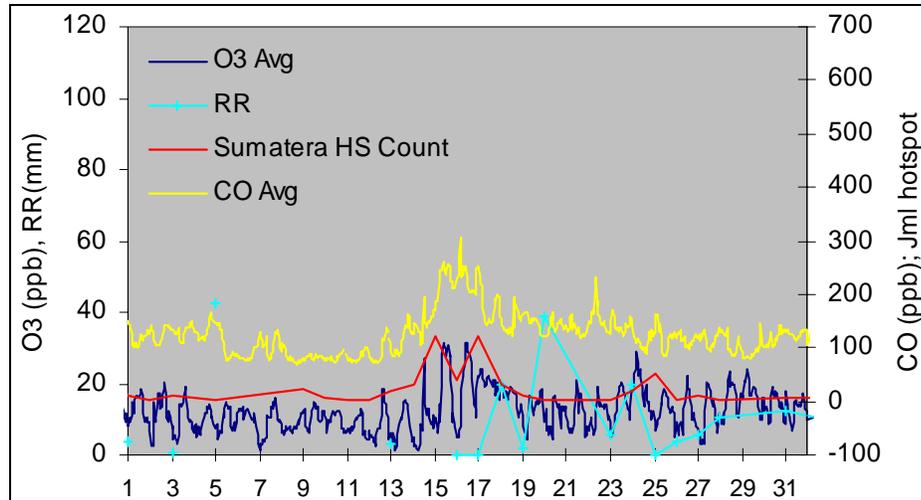


Gambar 7. Analisis kedatangan masa udara dari Flextra Trajektori produk EMPA Switzerland untuk tanggal 6 dan 16 September 2011.

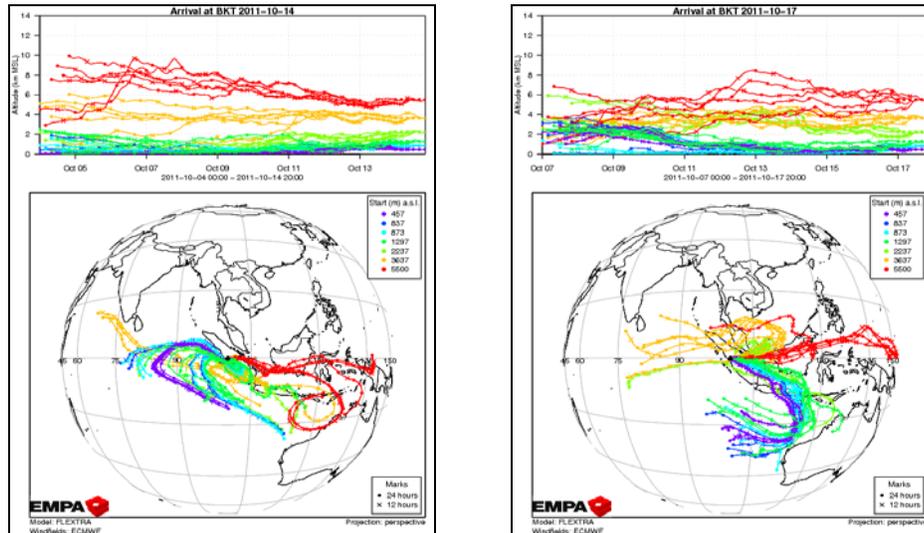
Tanggal 12 CO kembali naik konsentrasinya hingga mencapai puncak pada tanggal 14 sementara O_3 mulai turun sehari sebelumnya. Jumlah hotspot terdeteksi pada tanggal tersebut rendah dan curah pada tanggal 14 sebanyak 47.4 mm. Hujan yang terjadi pada tanggal 14 ini telah menurunkan kadar CO di atmosfer sementara hujan sehari sebelumnya yang hanya 0.8 mm telah mereduksi kadar O_3 . Titik api pada tanggal 18 kembali terdeteksi banyak di pulau Sumatera, tetapi efeknya kurang signifikan terhadap kenaikan polutan CO dan O_3 di atmosfer. Dari gambar Flextra trajectory pada tanggal 6, terlihat masa udara dominan berasal dari arah Tenggara untuk semua lapisan kecuali untuk masa udara ketinggian 2200 meter dari permukaan laut yang berasal dari arah Barat serta lapisan 5500 dpl berasal dari arah Timur dan Timur Laut, titik api tersebar di daerah Jambi, Riau dan Pesisir Barat Sumatera barat. Sementara itu analisis jejak masa udara Flextra pada tanggal 16 arah kedatangan masa udara berasal dari Tenggara kecuali lapisan 5500 dpl berasal dari Timur Laut Bukit Kototabang.

Oktober 2011

Kondisi polutan yang diakibatkan oleh titik api sepanjang bulan Oktober ini tidak begitu signifikan terhadap fluktuasi CO dan O_3 kecuali pada tanggal 14 – 18 Oktober. Beberapa titik api pada tanggal ini yang berada di Pesisir Barat telah memberikan nilai konsentrasi O_3 dan CO tinggi di Bukit Kototabang. Hal ini dapat dilihat dari jejak masa udara pada tanggal 14 hingga 16 didominasi dari arah Baratan, kecuali dari Timur dan Tenggara untuk lapisan tinggi di atas 2500 m dpl.



Gambar 8. Grafik ozon permukaan (O₃), karbon monoksida (CO) dan jumlah hotspot bulan Oktober tahun 2011 di Bukit Kototabang



Gambar 9. Analisis kedatangan masa udara dari Flextra Trajectory produk EMPA Switzerland untuk tanggal 14 dan 17 Oktober 2011.

Sebagai mana dilansir oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) bahwa telah terjadi 111 kali letusan gunung Marapi antara tanggal 1 – 10 Oktober 2011. hal ini tentu saja telah memberikan kontribusi berupa abu vulkanik yang terdeteksi oleh alat pemantau debu di SPAG Bukit Kototabang. Kaitannya dengan polutan CO dan O₃ tidak menunjukkan signifikansi dengan letusan ini, terlihat dari nilai terukur kedua polutan ini yang nampak normal dari rata-rata tahunan.

KESIMPULAN

Kebakaran lahan dan hutan atau pembakaran disengaja sisa-sisa hasil pertanian yang biasa dilakukan oleh masyarakat tani Indonesia telah memberikan kontribusi buruk terhadap kualitas udara. Disamping itu polutan yang dibawa oleh angin melalui long-range transport juga telah terdeteksi di Bukit Kototabang. Dari beberapa episode kualitas udara buruk yang terdeteksi di SPAG Bukit Kototabang, dengan bantuan satelit yang memantau titik api di pulau Sumatera dengan nyata menunjukkan kontribusinya pada kualitas udara. Mekanisme wash-out atau pembersihan udara melalui mekanisme air hujan yang turun di atmosfer telah nyata dapat menurunkan kadar polutan pada udara ambien. Unsur-unsur polutan dan molekul padat lainnya yang larut dalam air akan terbawa turun ke permukaan bumi bersama air hujan.

ACUAN

NEA Singapura, Satelit NOAA-18 imagery,
pada : <http://www.weather.gov.sg/wip/web/ASMC/home>.

Stephan Henne, EMPA Flextra Trajectory,
pada : <http://gaw.empa.ch/gawdata/trajecs.asp?year=2011&gawid=BKT>

Badan nasional Penanggulangan Bencana (BNPB),
pada <http://www.bnpb.go.id>.

DAMPAK BADAI MATAHARI PADA PENERIMAAN RADIASI MATAHARI DI BUKIT KOTOTABANG

Herizal

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

ABSTRACT

A solar flare is a sudden energy release in the solar atmosphere from which electromagnetic radiation and, sometimes, energetic particles and bulk plasma are emitted. Our sun goes through a 11 years cycle of minimum to maximum active mode. During active period it erupts with explosions that eject large amount of particles and radiation in to space which can affect the earth. A typical solar flare is much larger than the earth. The radiant energy of the sun is practically the only source of energy that influences atmosphere motions and the many various processes in the atmosphere and surface layers of the earth's crust. Approximately 99% of the solar radiation incident on earth's is encompassed within the wavelength 0.3 μm to 3.0 μm . Only small fraction of sun's emitted energy irradiates the earth typically 235 Wm^{-2} . This paper will learn impact of solar flare to solar irradiance on the earth.

Keywords: solar flare, solar irradiance

PENDAHULUAN

Matahari adalah salah satu bintang diantara jutaan bintang yang dapat kita lihat saat langit cerah pada malam hari. Yang membedakan matahari dengan bintang-bintang lainnya adalah jaraknya relatif terhadap bumi kita. Bintang-bintang lain berjarak tahunan cahaya, sedangkan matahari hanya sekitar 8 menit cahaya jaraknya dari bumi kita, sehingga relatif matahari adalah bintang yang terdekat dengan bumi kita.

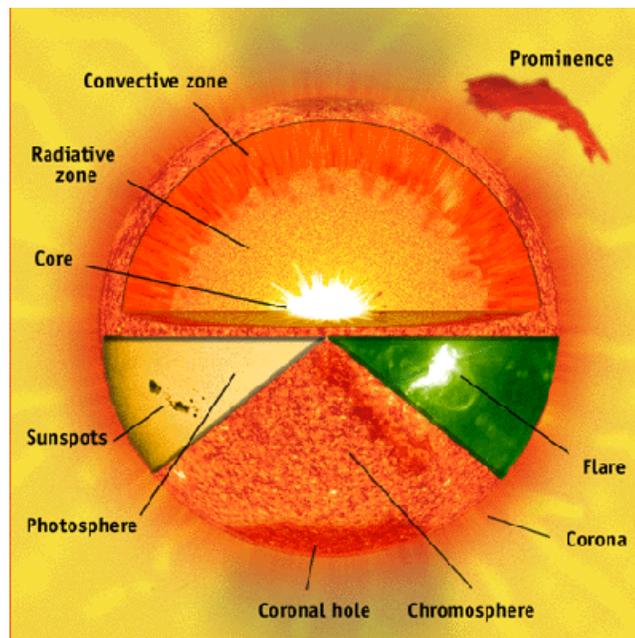
Dalam dunia astronomi matahari diklasifikasikan sebagai bintang dengan tipe G2, berdasarkan temperatur dan panjang gelombangnya atau spektrumnya dan di antariksa kita masih banyak bintang-bintang yang sekelas dengan matahari. Matahari hanyalah satu dari jutaan bintang yang bergerak mengelilingi pusat galaksi kita.

Matahari dibentuk oleh lapisan gas, yang strukturnya secara umum terdiri dari :

- **Inti** . Inti adalah pusat matahari, yang radiusnya kira-kira 25% dari radius total matahari
- **Zona Radiatif**. Zona radiatif adalah lingkaran setelah lingkaran inti matahari. Zona radiatif mempunyai radiusnya sekitar 45% dari radius total matahari

- **Zona Konvektif** . Zona konvektif merupakan lingkaran paling luar dari matahari kita. Zona konvektif memiliki radius sekitar 30% dari radius total matahari.

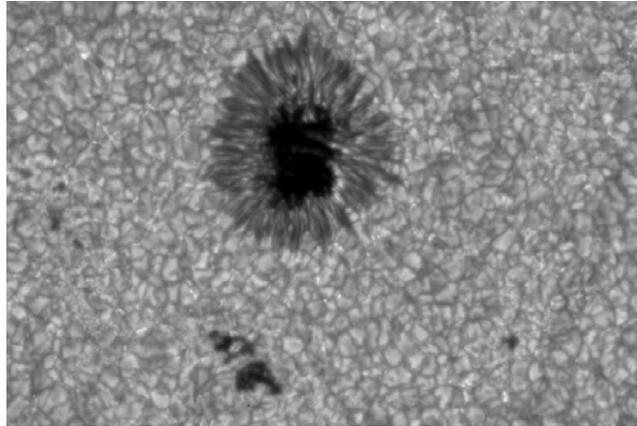
Di atas zona konvektif terdapat atmosfer matahari, yang terdiri dari tiga bagian juga, yaitu : Fotosfer, chrosmosfer dan corona. Fotosfer adalah bagian paling dalam dari atmosfer matahari kita. Fotosfer inilah bagian yang dapat kita lihat dari atmosfer matahari. Chrosmosfer adalah bagian dari atmosfer matahari yang terletak antara fotosfer dan corona. Bagian ini mempunyai temperatur sedikit lebih panas dari fotosfer. Corona adalah bagian paling luar atau terluar dari atmosfer matahari yang melebar jutaan mil dari chromosfer. Corona adalah bagian paling panas dari atmosfer matahari kita.



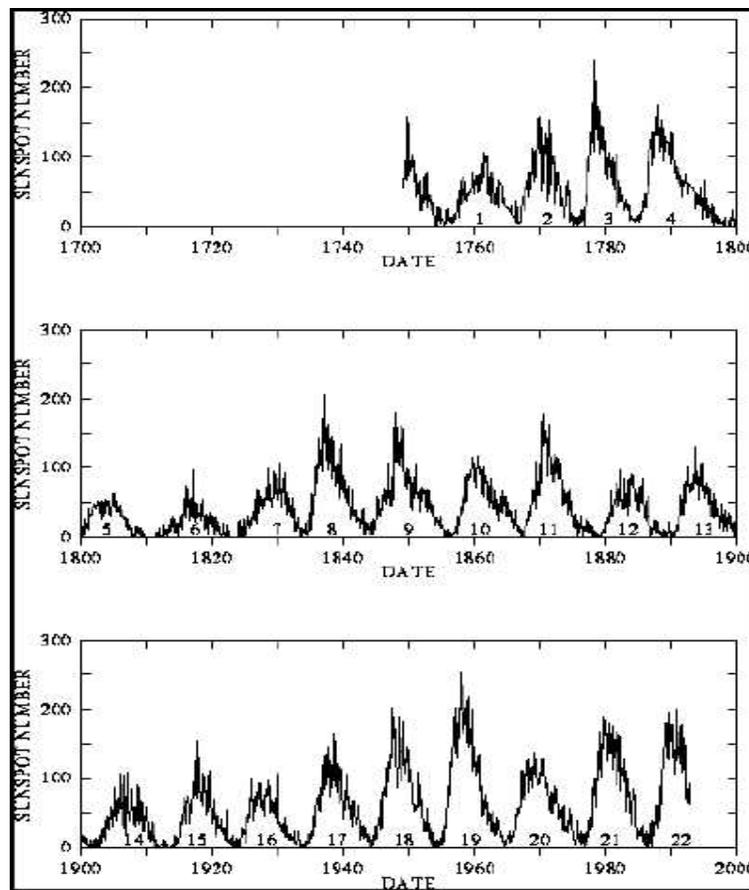
Gambar 1. Struktur Matahari

Bintik Hitam dan Badai Matahari

Pada bagian fotosfer terdapat daerah bintik hitam yang memiliki diameter sekitar 37000 km. Daerah ini kemudian dikenal dengan sebutan bintik hitam matahari (sunspot). Bintik hitam dalam fotosfer mempunyai moda aktif dari minimum ke maksimum. Siklus moda aktif bintik hitam dari minimum ke maksimum biasanya terjadi dalam selang waktu rata-rata sekitar sebelas tahunan. Gambar berikut menunjukkan bintik hitam matahari dan siklus bintik hitam matahari.



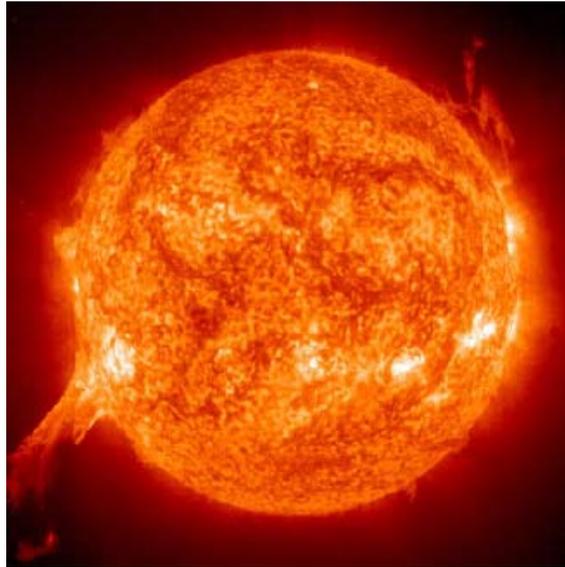
Gambar 2. Bintik Hitam Matahari



Gambar 3. Siklus Bintik Hitam Matahari

Pada saat bintik hitam masuk fasa moda aktif maksimum matahari mengeluarkan ledakan-ledakan yang mengeluarkan sejumlah besar energi radiasi, partikel-partikel dan gumpalam plasma ke angkasa yang sebagian dapat mempengaruhi bumi. Fenomena tersebut biasanya disebut dengan istilah badai matahari.

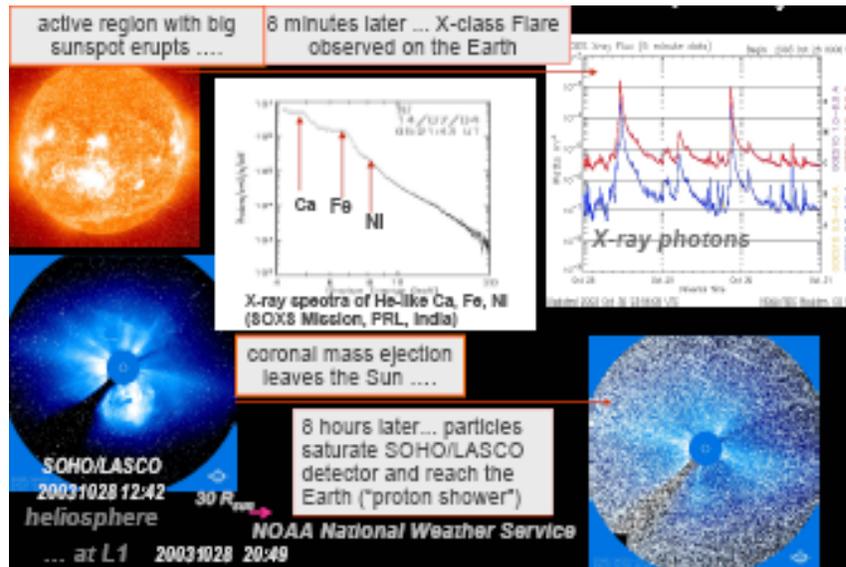
Badai matahari dapat didefinisikan sebagai pelepasan secara tiba-tiba energi maha dahsyat dalam atmosfer matahari. Dari badai matahari tersebut radiasi elektromagnetik, energi dalam bentuk partikel dan gumpalan plasma diemisikan. Jika dibandingkan luas permukaan bumi maka luasan badai matahari jauh lebih besar dari luasan bumi



Gambar 4. Badai Matahari

Fenomena badai matahari yang terjadi sekitar sebelas tahun sekali tercatat dengan baik oleh stasiun riset NOAA pada tahun 2003. Pada awalnya bintang matahari terdeteksi pada tanggal 29 Oktober 2003. Kemudian Satelit ruang angkasa Uni Eropa SOHO mendeteksi semburan masa corona yang besar yang delapan jam kemudian diikuti oleh hamburan partikel-partikel dan hujan proton. Stasiun riset permukaan bumi mencatat puncak-puncak energi radiasi dalam spektrum badai matahari. Selanjutnya puncak-puncak emisi Ca, Fe dan Ni seperti He juga termati dalam stasiun riset NOAA.

Visualisasi dari urutan fenomena badai matahari dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 5. Dampak badai matahari

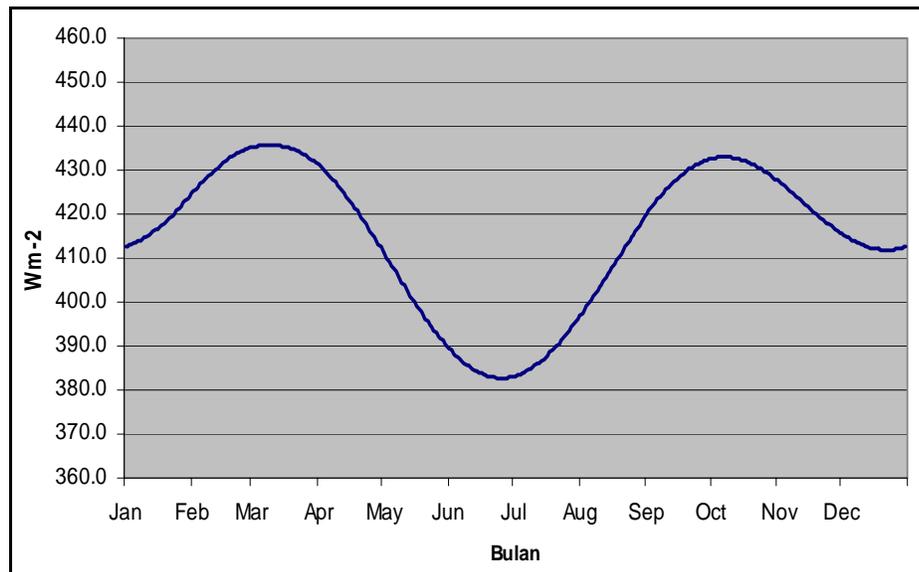
Dampak Badai Matahari pada Radiasi Matahari Bukit Kototabang

Radiasi matahari adalah sumber energi bagi sistem bumi atmosfer. Sumber energi lainnya ada, tetapi besarnya tidak signifikan dibanding dengan energi radiasi matahari oleh karena itu sering dianggap radiasi matahari merupakan satu-satunya sumber energi bagi sistem bumi atmosfer. Energi radiasi matahari dihasilkan oleh proses fusi nuklir ketika hidrogen dirubah menjadi helium dibagai dalam matahari.

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, merupakan salah satu lokasi pengamatan radiasi matahari di permukaan bumi. Secara alami radiasi matahari yang diterima permukaan bumi adalah radiasi global, karena radiasi ini tidak memilah-milah panjang gelombang yang datang dan juga tidak membatasi sinaran yang datang, jadi radiasi matahari alami yang diterima permukaan bumi adalah radiasi global.

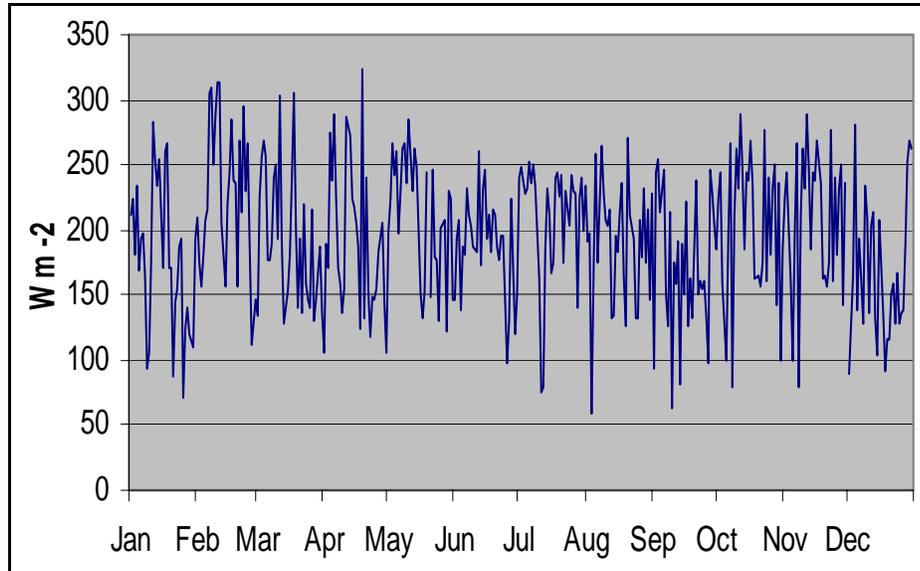
Jumlah energi radiasi yang diterima oleh suatu permukaan bumi tergantung dari beberapa faktor diantaranya : jarak bumi-matahari, kondisi atmosfer dan aktivitas dalam matahari itu sendiri. Jarak bumi-matahari berubah-ubah sepanjang tahun, tanggal 3 Januari adalah jarak bumi-matahari terdekat (0.983 AU), sedangkan jarak bumi-matahari terjauh terjadi tanggal 4 Juli (1.017 AU). Bukit Kototabang terletak di sekitar garis khatulistiwa, sehingga dua kali dalam setahun matahari melintasi wilayah ini. Saat matahari melintasi wilayah ekuator inilah jarak terdekat matahari dengan bumi Bukit Kototabang. Saat matahari

terdekat inilah secara teoritis bumi banyak menerima radiasi matahari. Namun hal demikian tidak selamanya terjadi, hal ini disebabkan dalam lintasan melewati atmosfer, di atmosfer terdapat beberapa proses interaksi sinaran dengan atmosfer yang menyebabkan terjadi pelemahan energi matahari yang mencapai permukaan bumi, seperti : proses pantulan, proses serapan dan proses hamburan. Namun kalau kita mengamati penerimaan radiasi matahari di puncak atmosfer maka radiasi matahari yang diterima puncak atmosfer sangat jelas dipengaruhi oleh faktor jarak matahari bumi.



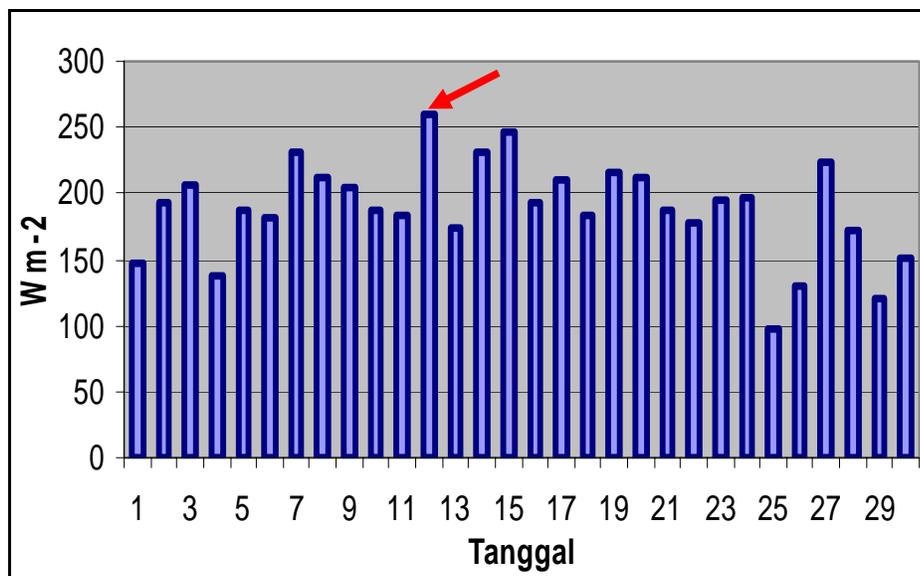
Gambar 6. Radiasi Puncak Atmosfer Bukit Kototabang

Selain fenomena pelemahan penerimaan energi matahari karena faktor jarak dan proses fisis yang ada di atmosfer. Meskipun tidak rutin sesekali terjadi juga fenomena peningkatan energi radiasi matahari di permukaan bumi. Hal ini terkait dengan aktivitas bintik hitam matahari yang memicu terjadi pelepasan energi secara tiba-tiba yang cukup besar yang biasa dikenal dengan fenomena badai matahari. Pada tahun 2011 tercatat satu kali fenomena badai matahari yang terjadi tanggal 12 Juni. Kalau kita plot data penerimaan radiasi matahari harian sepanjang tahun 2011, maka tampak tanggal 12 Juni bukanlah hari penerimaan energi terbesar di Bukit Kototabang.



Gambar 7. Variasi Harian Radiasi Matahari Global Bukit Kototabang Tahun 2011

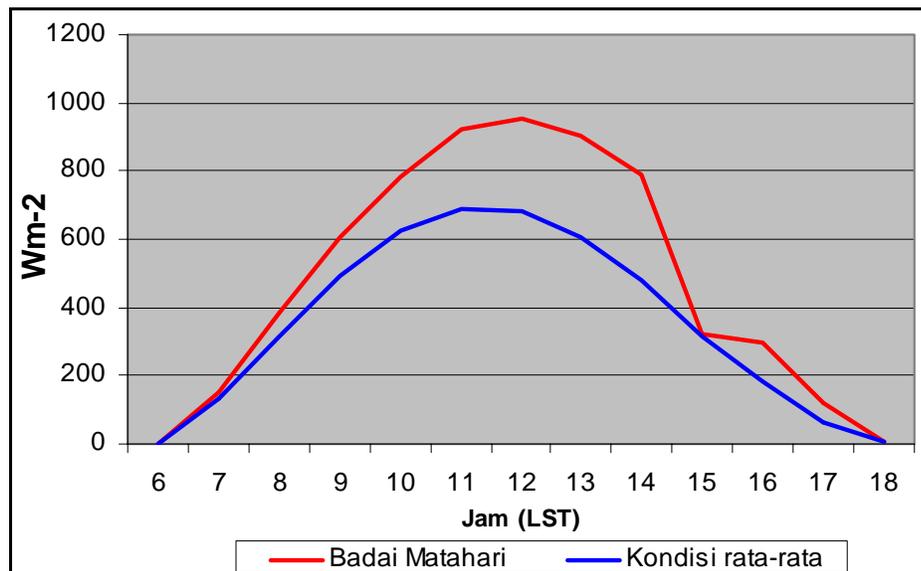
Akan tetapi jika diplot data penerimaan radiasi matahari Bukit Kototabang selama bulan Juni 2011 saja, tampak ada peningkatan penerimaan radiasi matahari pada tanggal 12 Juni 2011 bersamaan dengan waktu terjadi fenomena badai matahari seperti yang dapat dilihat pada Gambar.8 dibawah ini. Tanggal tersebut tercatat intensitas radiasi matahari yang diterima besarnya 265 Wm-2, sedangkan rata-ratanya hanya 185 Wm-2 . Jadi pada tanggal tersebut terjadi peningkatan penerimaan energi radiasi matahari sekitar 45 %.



Gambar 8. Variasi Harian Radiasi Matahari Global Bukit Kototabang pada bulan Juni 2011.

Tanda panah berwarna merah pada Gambar 8 menunjukkan hari dengan penerimaan radiasi matahari terbesar bulan Juni 2011

Kondisi rata-rata atau kondisi normal variasi diurnal radiasi matahari Bukit kototabang ditunjukkan oleh grafik berwarna biru sedangkan variasi diurnal saat terjadi fenomena badai matahari ditunjukkan oleh grafik dengan warna merah. Dari grafik tersebut tampak bahwa jam per jam penerimaan radiasi matahari saat terjadi badai matahari juga terjadi peningkatan dibanding dengan kondisi rata-ratanya.



Gambar 9. Perbandingan Radiasi Matahari Global Bukit Kototabang saat terjadi Badai Matahari dan saat kondisi normal (rata-rata).

KESIMPULAN :

Dari paparan analisa data tersebut diatas maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Fenomena Badai matahari terjadi tanggal 12 Juni 2011
2. Terjadi Peningkatan Penerimaan radiasi matahari di Bukit Kototabang sejalan dengan fenomena badai matahari.
3. Rata-rata penerimaan radiasi matahari bulan juni 2011 185 Wm-2, namun untuk tanggal 12 Juni 2011 tercatat penerimaan energi radiasi matahari sebesar 265 Wm-2, senilai dengan kenaikan penerimaan radiasi matahari sebesar 45%

DAFTAR PUSTAKA

Eddy, J.A. 1981: Climate and the role of the Sun. *In* Rotberg and Rabb 1981, 145--67 (5).

Friis-Christensen, E. and K. Lassen 1991. Length of the solar cycle, an indication of solar activity closely associated with climate. *Science* **254**, 698-700.

Lane, L.J., M.H. Nichols, and H.B. Osborn 1994: Time series analyses of global change data. *Environ. Pollut.*, **83**, 63-68.

Willson, R.C. 1997. Total solar irradiance trend during solar cycles 21 and 22. *Science*, **277**, 1963-5.

Rotberg, I. and T.K. Rabb (eds) 1981: *Climate and History*. (Princeton Univ. Press) 280pp.

BIODATA PENULIS

Agusta Kurniawan. Lahir di Yogyakarta, 20 Agustus 1979. Menamatkan pendidikan Strata 1 pada tahun 2002 dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada. Memperoleh gelar Magister Sains dari Pascasarjana Universitas Gadjah Mada pada tahun 2004 di bidang Kimia Lingkungan. Saat ini menjabat sebagai staf Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

Sugeng Nugroho. Lahir di Bantul, tanggal 15 Desember 1972. Menamatkan pendidikan Diploma III BPLMG Badan Diklat Departemen Perhubungan Jurusan Meteorologi tahun 1996. Memperoleh gelar Sarjana Geografi dari Universitas Indonesia tahun 2002 dan Magister Sains pada Program Studi Ilmu Lingkungan di Universitas Negeri Padang tahun 2010. Saat ini menjabat sebagai Kepala Seksi Data dan Informasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Alberth Christian Nahas. Lahir di Banjarbaru, 5 Mei 1985. Menamatkan pendidikan S1 pada tahun 2007 dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat dengan gelar Sarjana Sains dari Jurusan Kimia. Saat ini menjabat sebagai staf Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Asep Firman Ilahi. Lahir di Bogor, 5 Januari 1975. Menamatkan pendidikan Diploma III dari AMG Jurusan Meteorologi pada tahun 2001. Saat ini menjabat sebagai Kepala Seksi Observasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Herizal. Lahir di Jakarta, 4 Juli 1961. Tamat pendidikan Diploma III Meteorologi BPLMG Badan Diklat Departemen Perhubungan tahun 1984. Memperoleh gelar Sarjana Fisika dari Universitas Indonesia tahun 1994. Memperoleh gelar Magister Sains Ilmu Lingkungan dari Program Pascasarjana Ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang tahun 2005. Saat ini menjabat sebagai Kepala Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.