

## PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> DAN PM<sub>10</sub>) DI BUKIT KOTOTABANG BERBASIS ISPU

*Agusta Kurniawan*

Stasiun Klimatologi Mlati, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.  
Email: [agusta6872@gmail.com](mailto:agusta6872@gmail.com)

### ABSTRACT

*Bukit Kototabang, West Sumatera is one of the 34 global global (Global scale) monitoring stations in the world. Bukit Kototabang GAW Station is an implementation of the Global Atmosphere Watch (GAW) program initiated by the World Meteorological Organization (WMO) as an effort to monitor global atmospheric conditions. The Global Atmospheric Watch (GAW) Stations have duty to obtain atmospheric data and air quality data in remote area or relatively clean areas and far away from anthropogenic activity. Measurements of air quality parameters (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and PM<sub>10</sub>) are continuously conducted at Bukit Kototabang. The monitoring data at Bukit Kototabang GAW Station in 2012 which is converted to Indonesian Air Pollution Standard Index shows the air quality is still good, shown by 353 days classified as clean (index = 0-50), 10 days is moderate (index = 51-100), and 1 day is very unhealthy (index = 200-299). That means 3% of daily air quality in Bukit Kototabang in 2012 is not good.*

**Keywords:** *Air Quality; Bukit Kototabang; GAW; Indonesian Air Pollution Standard Index; WMO.*

### ABSTRAK

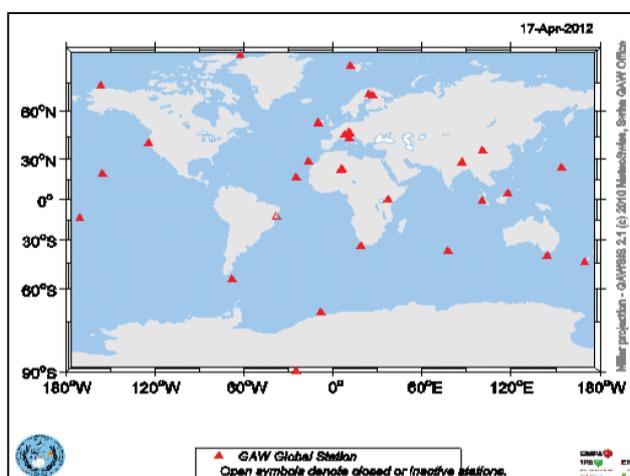
Bukit Kototabang, Sumatera Barat merupakan salah satu lokasi dari 34 Stasiun Pemantau Atmosfer Global sejenis (berskala global) yang ada di dunia. Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan implementasi dari program Global Atmosphere Watch (GAW) yang dicetuskan oleh World Meteorological Organization (WMO) sebagai upaya untuk melakukan monitoring terhadap kondisi atmosfer secara global. SPAG bertugas untuk memperoleh data atmosferik dan kualitas udara di daerah dengan tipe remote atau daerah dengan kondisi udara yang relatif bersih dan jauh dari aktivitas antropogenik. Pengukuran parameter kualitas udara (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan PM<sub>10</sub>) secara terus menerus dilakukan di Bukit Kototabang. Data monitoring di SPAG Bukit Kototabang tahun 2012 yang dikonversi menjadi Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) menunjukkan kualitas udara masih baik, ditunjukkan dengan 353 hari tergolong bersih (indeks = 0-50), 10 hari tergolong sedang (indeks = 51-100), dan 1 hari tergolong sangat tidak sehat (indeks = 200-299). Itu berarti 3% kualitas udara harian di Bukit Kototabang tahun 2012 tergolong tidak baik.

**Keywords:** *Bukit Kototabang; GAW; ISPU; WMO; Kualitas Udara.*

## PENGANTAR Bukit Kototabang GAW Station

Bukit Kototabang GAW Station atau dalam bahasa Indonesia disebut Stasiun Pemantau Atmosfer Global merupakan satu-satunya Stasiun Pemantau Atmosfer Global di Indonesia (skala global) dan merupakan satu dari 34 Stasiun Pemantau Atmosfer Global sejenis yang ada di dunia. Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun pengamatan

referensi udara bersih. Stasiun ini merupakan implementasi dari program Global Atmosphere Watch (GAW) yang dicetuskan oleh World Meteorological Organization (WMO) sebagai upaya untuk melakukan monitoring terhadap kondisi atmosfer secara global. Sampai saat ini (17 April 2012), ada 34 stasiun berskala global yang ada di dunia yang bertugas untuk memperoleh data atmosferik dan kualitas udara di daerah dengan tipe remote atau daerah dengan kondisi udara yang relatif bersih dan jauh dari aktivitas antropogenik.



### Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang

Ketinggian : 864,5 m

Lokasi : Bukit Kototabang, Jl Raya  
Bukittinggi-Medan Km17,  
Kecamatan Palupuh,  
Kabupaten Agam, Sumatera Barat,  
Indonesia

Koordinat : 00°12'00"LS - 100°19'12"BT

Tipe Station : Remote/Background Monitoring

Gambar 1.

Lokasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global (berskala global) di dunia Bukit Kototabang terletak dekat dengan garis katulistiwa (ekuator), berada di Pulau Sumatera, Propinsi Sumatera Barat. sumber: <http://www.gawtec.de>

Untuk kawasan Asia, SPAG Bukit Kototabang merupakan satu dari empat stasiun GAW selain Minamitorishima (Jepang), Mount Waliguan (China), dan Danum Valley (Malaysia). Posisi astronomis dan geografis Indonesia memberikan fenomena tersendiri dalam bidang sains atmosfer. Kenyataan bahwa Indonesia merupakan negara maritim yang terletak di daerah tropis dengan keberagaman topografi dan sumberdaya alamnya telah sejak lama menjadi perhatian para peneliti di bidang sains atmosfer. Oleh karena itu, ketika Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) bermaksud untuk memperluas jaringan pemantau atmosfernya, maka Indonesia dijadikan sebagai salah satu kandidat utamanya. Wilayah Indonesia yang terbagi dalam 5 (lima) pulau utama, yaitu Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Irian

dengan perbedaan topografi mengisyaratkan suatu pemilihan yang selektif untuk dapat merepresentasikan Indonesia sebagai titik acuan bagi pengukuran di wilayah tropis berbasis maritim. Dari kelima pulau tersebut, Pulau Sumatera dipilih karena keragaman topografi dan letaknya yang berhadapan dengan Samudera Hindia, yang telah lama menjadi salah satu perhatian kalangan meteorologis dan peneliti sains atmosfer. Selain itu, belum banyaknya titik yang berada di dekat Samudera Hindia menjadi pertimbangan khusus mengapa wilayah Sumatera dipilih. Bukit Kototabang berada di Kecamatan Palupuh, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Secara astronomis, stasiun ini berada di 0,20°LS dan 100,32°BT. Letak astronomisnya yang sangat unik karena berada dekat dengan garis ekuator membuat

**AGUSTA KURNIAWAN ❖ PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA  
(CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> DAN PM<sub>10</sub>) DI BUKIT KOTOTABANG BERBASIS ISPU**

stasiun ini menjadi sangat penting untuk pengamatan kondisi atmosferik di daerah sekitar ekuator. Letak geografis dari stasiun ini juga tak kalah unik karena di bagian barat merupakan daerah pesisir yang berhadapan dengan Samudera Hindia yang luas, sementara di bagian timur merupakan wilayah dataran tinggi yang didominasi oleh Bukit Barisan.



Gambar 2.  
Kondisi Lingkungan Bukit Kototabang GAW Station  
Foto merupakan dokumentasi pribadi penulis, diambil tahun 2009.

Bukit Kototabang dipilih sebagai tempat untuk mengukur referensi udara bersih karena bukit ini berada jauh dari sumber-sumber pencemaran udara antropogenik seperti industri, jalan raya dan pemukiman. Jalan raya dan pemukiman yang merupakan salah satu sumber pencemaran udara antropogenik berada di kaki bukit dengan jarak sekitar 3 (tiga) kilometer dari Bukit Kototabang, sehingga tempat ini diharapkan ideal untuk mengukur referensi udara bersih.

**Baku Mutu Udara dan ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara)**

Kualitas udara pada umumnya dinilai dari konsentrasi parameter pencemaran udara yang terukur lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai Baku Mutu Udara Ambien Nasional. Baku mutu udara adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemaran udara yang dapat ditenggang keberadaannya dalam udara

ambien. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer (lapisan udara setebal 16 km dari permukaan bumi) yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Baku mutu udara ambien nasional ditetapkan sebagai batas maksimum mutu udara ambien untuk mencegah terjadinya pencemaran udara sebagaimana terlampir dalam PP No 41 Tahun 1999. Pemerintah menetapkan Baku Mutu Udara Ambien Nasional untuk melindungi kesehatan dan kenyamanan masyarakat. Baku Mutu Udara Ambien Nasional dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku mutu udara ambien nasional menurut PP No 41 tahun 1999

No.	Parameter	Waktu	Baku Mutu
1	Aerosol (PM <sub>10</sub> )	24 jam	150 µg/m <sup>3</sup>
2	Karbonmonoksida (CO)	1 jam	30000 µg/m <sup>3</sup>
		24 jam	10000 µg/m <sup>3</sup>
3	Ozon (O <sub>3</sub> )	1 jam	235 µg/m <sup>3</sup>
		1 tahun	50 µg/m <sup>3</sup>
4	Sulfurdioksida (SO <sub>2</sub> )	24 jam	365 µg/m <sup>3</sup>
		1 tahun	80 µg/m <sup>3</sup>
5	Nitrogendioksida (NO <sub>2</sub> )	1 jam	0.25 µg/m <sup>3</sup>
		1 tahun	100 µg/m <sup>3</sup>

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 lebih detil lagi dalam Lampiran Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemaran Udara (Tabel 2).

Tabel 2. Parameter dasar untuk pengukuran ISPU dan periode waktu pengukurannya sesuai dengan lampiran Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997

No.	Parameter	Waktu Pengukuran (rata-rata)
1	Partikulat (PM <sub>10</sub> )	24 jam
2	Sulfurdioksida (SO <sub>2</sub> )	24 jam
3	Karbonmonoksida (CO)	8 jam
4	Ozon (O <sub>3</sub> )	1 jam
5	Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> )	1 jam

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 3 berikut.

Tabel 3. Kategori kualitas udara berdasarkan nilai ISPU sesuai dengan lampiran Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997

No.	Nilai ISPU	Kategori
1	0-50	Baik
2	51-100	Sedang
3	101-199	Tidak Sehat
4	200-299	Sangat Tidak Sehat
5	> 300	Berbahaya

**Pengaruh parameter kualitas udara (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan PM<sub>10</sub>) berbasis nilai ISPU terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup.**

Pengaruh konsentrasi gas karbonmonoksida (CO) terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup, sebagai berikut: Indeks ISPU berkategori baik (0-50), tidak menimbulkan efek apapun bagi manusia dan makhluk hidup. Nilai ISPU pada kisaran 51-100 berkategori sedang, paparan gas CO mulai menimbulkan perubahan kimia darah, tetapi walaupun tak terdeteksi. Pada kisaran 101-199 berkategori tidak sehat paparan gas CO mulai meningkatkan kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung. Sedangkan pada kisaran

200-299 berkategori sangat tidak sehat, paparan gas CO akan meningkatkan kardiovaskular pada orang bukan perokok yang berpenyakit jantung, dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata. Pada nilai ISPU di atas 300, atau masuk kategori berbahaya, paparan gas CO berbahaya bagi semua polulasi.

Pengaruh konsentrasi gas Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup, sebagai berikut: Indeks ISPU berkategori baik (0-50), paparan gas NO<sub>2</sub> menimbulkan sedikit bau tertentu. Nilai ISPU yang lebih tinggi pada kisaran 51-100 berkategori sedang, paparan gas NO<sub>2</sub> menimbulkan bau tertentu. Pada kisaran lebih tinggi lagi pada indeks ISPU 101-199 berkategori tidak sehat paparan gas NO<sub>2</sub> mulai meningkatkan bau lebih tajam dan mulai kehilangan warna gas, memberikan efek peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma. Sedangkan pada kisaran 200-299 berkategori sangat tidak sehat, gas NO<sub>2</sub> akan meningkatkan sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronkhitis. Pada nilai ISPU di atas 300, atau masuk kategori berbahaya, paparan gas NO<sub>2</sub> berbahaya bagi semua populasi.

Pengaruh konsentrasi gas Ozon Permukaan (O<sub>3</sub>) terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup, sebagai berikut: Indeks ISPU berkategori baik (0-50), paparan gas O<sub>3</sub> dan kombinasi dengan SO<sub>2</sub> selama 4 (empat) jam berturut-turut mengakibatkan luka pada beberapa spesies tumbuhan. Nilai ISPU yang lebih tinggi pada kisaran 51-100 berkategori sedang, paparan gas O<sub>3</sub> pada jangka waktu yang lebih pendek dapat menimbulkan luka pada beberapa spesies tumbuhan. Pada kisaran indeks ISPU 101-199 berkategori tidak sehat, paparan gas O<sub>3</sub> mulai mengakibatkan penurunan kemampuan pada atlet yang berlatih keras. Sedangkan berkategori sangat tidak sehat pada kisaran 200-299, gas O<sub>3</sub> akan mengakibatkan pengaruh pernapasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis saat melakukan olah raga ringan. Pada nilai ISPU diatas 300, atau masuk kategori berbahaya, paparan gas O<sub>3</sub> berbahaya bagi semua polulasi.

Pengaruh konsentrasi gas Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) terhadap kesehatan manusia dan makhluk

## AGUSTA KURNIAWAN ✦ PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> DAN PM<sub>10</sub>) DI BUKIT KOTOTABANG BERBASIS ISPU

hidup, sebagai berikut: Indeks ISPU berkategori baik (0-50), paparan gas SO<sub>2</sub> dan kombinasi dengan O<sub>3</sub> selama 4 (empat) jam berturut-turut mengakibatkan luka pada beberapa spesies tumbuhan. Nilai ISPU yang lebih tinggi pada kisaran 51-100 berkategori sedang, paparan gas SO<sub>2</sub> pada jangka waktu yang lebih pendek dapat menimbulkan luka pada beberapa spesies tumbuhan. Pada kisaran indeks ISPU 101-199 berkategori tidak sehat, paparan gas SO<sub>2</sub> mulai menimbulkan bau dan meningkatnya keracunan pada tanaman. Sedangkan berkategori sangat tidak sehat pada kisaran 200-299, gas SO<sub>2</sub> akan mengakibatkan peningkatan sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronkhitis. Pada nilai ISPU diatas 300, atau masuk kategori berbahaya, paparan gas O<sub>3</sub> berbahaya bagi semua populasi.

Pengaruh Partikulat (PM<sub>10</sub>) terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup, yaitu tidak ada efek apapun bila kategori ISPU berkategori baik (0-50). Pada kisaran nilai 51-100 berkategori sedang, partikulat berakibat mulai penurunan pada jarak pandang. Pada kisaran indeks ISPU 101-199 berkategori tidak sehat, partikulat menyebabkan jarak pandang turun secara signifikan, dan terjadi pengotoran debu di mana-mana. Sedangkan berkategori sangat tidak sehat pada kisaran 200-299, partikulat meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronkhitis. Pada nilai ISPU di atas 300, atau masuk kategori berbahaya, paparan partikulat (PM<sub>10</sub>) berbahaya bagi semua populasi.

### Penelitian Mengenai Kualitas Udara

Banyak negara di dunia termasuk Indonesia melakukan penelitian mengenai kualitas udara, antara lain: Monitoring kualitas udara dilakukan di lingkungan perkotaan (*urban environmental*) di kota Catania, Italia pada tahun 2012-2013 (Famoso dkk, 2015). Lima stasiun yang digunakan adalah Viale Veneto mewakili *heavy traffic*, Piazza A. Moro mewakili *medium traffic*, Librino mewakili *light traffic*, Parco Gioeni mewakili *urban-background*, Zona Industriale mewakili *industrial zone*. Ambang batas yang digunakan adalah *European Air*

*Quality Directive 50/2008*. Nilai ambang batas masing-masing parameter sebagai berikut:

NO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> sebesar 200 µg/m<sup>3</sup> (rata-rata 1 jam), sebesar 40 µg/m<sup>3</sup> (rata-rata 1 tahun)

O<sub>3</sub> sebesar 120 µg/m<sup>3</sup> (8 jam/hari), sebesar 180 µg/m<sup>3</sup> (1 jam)

SO<sub>2</sub> sebesar 350 µg/m<sup>3</sup> (1 jam), sebesar 125 µg/m<sup>3</sup> (1 hari)

C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> sebesar 5 µg/m<sup>3</sup> (rata-rata 1 tahun)

PM<sub>10</sub> sebesar 50 µg/m<sup>3</sup> (rata-rata 1 hari), sebesar 40 µg/m<sup>3</sup> (rata-rata 1 hari).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa stasiun Viale Veneto yang mewakili *heavy traffic*, memiliki konsentrasi tahunan NO<sub>2</sub> melebihi ambang batas 40 µg/m<sup>3</sup> (rata-rata 1 tahun) dan konsentrasi O<sub>3</sub> 8 jam/hari melebihi ambang batas 120 µg/m<sup>3</sup> (8 jam/hari). Lalu lintas mobil dengan bahan bakar diesel dianggap penyebab hal itu (Famoso et al., 2015).

Penelitian serupa mengenai monitoring kualitas udara di daerah perkotaan juga dilakukan di kota Florence (Italia), bedanya pada penelitian ini hanya mengukur tiga parameter (CO, CO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>) menggunakan unit monitoring kualitas udara berbiaya rendah (teknologi *Arduino*) dengan sensor resolution tinggi dilengkapi monitoring pengukur kepadatan lalu lintas jalan (sensor kamera dan video analisis untuk menghitung jumlah kendaraan, kecepatan, dan kategori kepadatan). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> lebih tinggi di bulan-bulan musim dingin daripada bulan-bulan musim panas disebabkan ada tambahan emisi dari pemanas pada bulan-bulan di musim dingin (Gualtieri et al., 2017).

Kota lain yang melakukan monitoring kualitas udara di Italia juga dilakukan di Roma (Batista G., 2017). Penelitian ini juga menggunakan ambang batas *European Air Quality Directive 50/2008*, parameter kualitas udara yang diteliti juga sama (Famoso et al., 2015), ada enam parameter: NO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CO dan PM<sub>10</sub>. Hasil penelitian yang sama dengan (Gualtieri et al., 2017), di musim dingin konsentrasi polutan lebih tinggi karena selain kontribusi dari lalu lintas kendaraan dan ada tambahan emisi dari penggunaan pemanas.

Penelitian mengenai hubungan curah hujan, lalu lintas kendaraan dengan konsentrasi polusi udara dilakukan di Seoul, Korea menggunakan path analysis (Kwak, H. Y. et al., 2017). Polusi udara yang diteliti ada lima parameter  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  dan CO. Hasil penelitian menunjukkan curah hujan secara langsung memberikan efek pencucian sehingga menurunkan konsentrasi polutan, tetapi curah hujan juga memberikan efek tidak langsung saat hujan lebat pandangan pengemudi berkurang, menyebabkan kendaraan berjalan lambat dan berakibat konsentrasi polutan semakin tinggi (Kwak, H. Y. dkk., 2017).

Penelitian mengenai kualitas udara tidak hanya terkait dengan lalulintas saja, penelitian mengenai kualitas udara saat terjadinya kabut asap di Malaysia tahun 2013, akibat kebakaran hutan di Sumatra, Indonesia (Show, D. L and Chang, S. C., 2016). Penilaian kualitas udara berdasarkan konsentrasi  $PM_{10}$  harian yang diukur di Petaling Jaya menggunakan instrumen BAM1020. Titik panas akibat kebakaran hutan diamati dengan citra MODIS dari Satelit (Terra dan Aqua). Nilai Konsentrasi  $PM_{10}$  tertinggi tercapai pada 23 Juni 2013 sebesar 290 mikrogram/ $m^3$ , didukung dengan jumlah titik panas terbanyak yaitu 19 Juni 2013, disusul 21 Juni 2013 dan ketiga 23 Juni 2013. Peta vektor angin memperlihatkan lintasan polutan dari Indonesia ke Semenanjung Malaysia pada musim kemarau bulan Juni 2013 (Show, D. L and Chang, S. C., 2016).

Selain itu ada juga penelitian mengenai efek polusi udara terhadap kesehatan, khususnya penyakit asma dilakukan di kota Izmir, Turki pada tahun 2007-2010. Parameter polusi udara yang digunakan adalah  $SO_2$  dan  $PM_{10}$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi  $SO_2$  dan  $PM_{10}$  yang tinggi menyebabkan penyakit asma (Ozcan, N. S. and Cubukcu, K. M., 2015).

Keterbatasan penelitian/monitoring kualitas udara di daerah remote/terpencil mendorong penulis untuk melihat kualitas udara di Bukit Kototabang sebagai salah satu stasiun referensi udara bersih (*background monitoring*) di Indonesia berdasarkan kategori ISPU, serta menilai kelayakan Bukit kototabang

GAW Station sebagai remote monitoring ataukah perlu dinaikkan menjadi urban atau sub-urban monitoring berdasarkan data kualitas udara tahun 2012.

Pada saat penentuan kategori kualitas udara dari lima parameter pengukuran ( $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  dan  $PM_{10}$ ), maka kategori kualitas udara lokasi tersebut ditentukan dari kategori nilai ISPU yang terburuk pada saat yang sama.

## Metode

Pengukuran parameter kualitas udara di Bukit kototabang GAW Station menggunakan metode monitoring. Metode monitoring disini artinya pengukuran konsentrasi ( $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  dan  $PM_{10}$ ) secara terus-menerus 24 jam tanpa henti. Periode pengukuran kualitas udara yang digunakan pada tulisan ini terbatas hanya pada tahun 2012, berkaitan dengan ketersediaan data semua parameter. Untuk menjamin kualitas data pengukuran secara berkala (2-4 tahun sekali), Bukit kototabang GAW Station diaudit oleh badan dunia yang mengurus cuaca (WMO=World Meteorology Organization), yang hasilnya tertuang dalam GAW Report.

## Pengukuran Parameter Meteorologi Permukaan (Tekanan Udara dan Temperatur Udara)

Parameter meteorologi permukaan seperti radiasi matahari global, curah hujan, kelembaban relatif udara, temperatur udara permukaan, tekanan udara, kecepatan angin, dan arah angin diukur dengan menggunakan instrumen *Meteorological Automatic Weather Station (MAWS)*-Vaisala. MAWS merupakan stasiun cuaca mini dan dipasang dengan menggunakan tripod portable. Instrumen ini terdiri dari beberapa sensor yang dapat digunakan untuk mengukur parameter meteorologi terdiri dari sensor angin (seri QMW 101), sensor radiasi matahari (QMS 101), sensor temperatur dan kelembaban (QMH 101), sensor presipitasi (QMR 101), sensor tekanan (PMT 16A), sebuah logger (QML 102), baterai internal *rechargeable* (QMB 102), dan panel surya untuk mengisi baterai internal. Resolusi data pengamatannya adalah 1 (satu) menit. Komponen parameter meteorologi permukaan yang digunakan pada

tulisan ini adalah temperatur udara dan tekanan udara, dari data mentah 1 (satu) menit diolah menjadi rata-rata perjam kemudian dieleh kembali menjadi rata-rata harian.

### Pengukuran parameter gas (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub>) Pengukuran Ozon permukaan (O<sub>3</sub>)

Pengukuran ozon permukaan (O<sub>3</sub>) dilakukan dengan menggunakan instrumen TEI Tipe 49C *Ozone Analyzer*. Detail mengenai metode pengukuran dan hasil pengukuran beserta koreksinya ini dapat dilihat pada publikasi lain (Klausen et al., 2003; Mairisdawenti, 2014). Resolusi data dibuat menjadi agregat per-jam untuk selanjutnya diproses sesuai dengan keperluan perhitungan nilai ISPU, keluaran data konsentrasi O<sub>3</sub> memiliki satuan *parts per-billion (ppb)*.

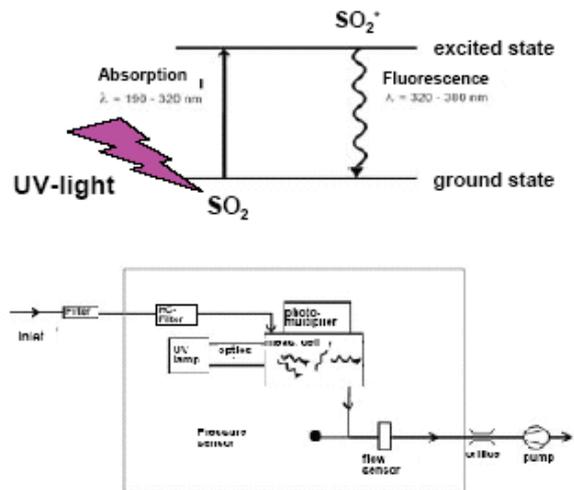
### Pengukuran Karbonmonoksida (CO)

Pengukuran karbonmonoksida diperoleh dari instrumen HORIBA APMA360 *CO Analyzer*. Instrumen ini beroperasi menggunakan metode *Non-Dispersive Infra Red (NDIR) Spectroscopy*. Konsentrasi CO dihitung berdasarkan kompensasi pengurangan intensitas cahaya berdasarkan prinsip Beer-Lambert. Detail mengenai metode pengukuran dapat dilihat pada publikasi lain (Henne dkk., 2008). Resolusi data yang dihasilkan kemudian diolah menjadi agregat per-jam untuk diproses lebih lanjut sesuai dengan keperluan perhitungan nilai ISPU. Keluaran data konsentrasi CO memiliki satuan *ppb*.

### Pengukuran Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>)

Pengukuran gas SO<sub>2</sub> dengan metode UV Fluoresense menggunakan instrumen TS43i. Instrumen mencatat konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dengan resolusi waktu setiap beberapa puluh detik namun dicatat sebagai rawdata dengan rata-rata 5 menit. Inlet berada kurang lebih 3-4 meter dari permukaan tanah. Inlet udara menggunakan bahan dari polietilen dengan pertimbangan bersifat inert atau tidak bereaksi dengan sampel yang dianalisa.

Untuk menghilangkan partikel/debu pada sistem inlet dipasangkan filter inlet,



Gambar 3. Proses UV-Fluoresense pada gas SO<sub>2</sub> (atas), prinsip kerja instrumen dengan metode UV-Fluoresense (bawah)

Sumber: M. Speidela, R. Naua, F. Arnolda, H. Schlagerb, A. Stohl. (2007). Sulfur dioxide measurements in the lower, middle and upper troposphere: Deployment of an aircraft-based chemical ionization mass spectrometer with permanent in-flight calibration, *Atmospheric Environment* 41 (2007) 2427-2437.

dan untuk menghilangkan uap air dari udara ambien dipasang pengering berupa rubin gel. Prinsip kerja instrumen yang menggunakan metode UV Fluoresense adalah udara yang mengandung gas SO<sub>2</sub> ditarik menggunakan pompa kemudian dibawa ke dalam ruangan pengukuran. Sumber cahaya digunakan sinar ultraviolet dengan panjang gelombang 320-380 nm. Saat di dalam ruangan pengukuran sampel gas SO<sub>2</sub> akan dikenai dengan sinar ultraviolet tersebut. Selanjutnya SO<sub>2</sub> akan mengalami eksitasi. Saat SO<sub>2</sub> yang tereksitasi kembali keadaan dasar (*ground state*) akan memancarkan sinar, proses memancarkan sinar ini disebut dengan *fluoresense*. Besarnya fluoresense akan diukur dengan bagian instrumen disebut *photomultiplier* (Speidela, 2007.). Besarnya konsentrasi gas SO<sub>2</sub> sebanding dengan besarnya sinar yang diukur oleh *photomultiplier*. Instrumen ini dilengkapi dengan sistem kalibrasi (*Dynamic Gas Calibrator TS146i* dan *Zero Air Supply TS111*) serta gas standar SO<sub>2</sub> untuk menjamin kualitas peralatan dan data yang dihasilkan.

### Pengukuran Nitrogendioksida (NO<sub>2</sub>)

Pengukuran gas NO<sub>2</sub> dilakukan instrumen TS42i-Trace Level. Instrumen ini diperuntukkan untuk monitoring gas NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> di daerah terpencil, sesuai dengan istilah nama Trace Level pada nama instrumen, nilai konsentrasi gas terukur dinyatakan sebagai *mixing ratio* atau fraksi mol dalam orde ppb (*part per billion*). Prinsip kerja instrumen ini *Chemiluminescent*. Data gas NO<sub>2</sub> merupakan data dengan resolusi 5 (lima) menit, kemudian diolah data ini kemudian diolah menjadi agregat harian. Data mentah 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 NO<sub>2</sub> untuk menjamin kualitas peralatan dan data yang dihasilkan.

### Pengukuran Parameter Partikulat (PM<sub>10</sub>)

Pengukuran PM<sub>10</sub> diukur dengan menggunakan instrumen BAM1020. Instrumen ini bekerja berdasarkan prinsip pelemahan partikel sinar beta yang melalui materi padatan yang dikumpulkan dalam pita filter yang terbuat dari fiber. Materi padatan yang terkumpul dalam filter fiber tidak lain adalah PM<sub>10</sub> dalam satu volume udara ambien yang dihisap oleh pompa. Konsentrasi PM<sub>10</sub> juga ditentukan dari kompensasi pengurangan intensitas cahaya berdasarkan prinsip Beer-Lambert. Konsentrasi PM<sub>10</sub> yang terukur disimpan di dalam data logger dan dapat ditampilkan pada layar monitor PC melalui koneksi serial RS-232. Data konsentrasi PM<sub>10</sub> yang dihasilkan memiliki satuan µg/m<sup>3</sup> dalam resolusi perjam.

### Perhitungan nilai ISPU

Konsentrasi yang digunakan dalam perhitungan ISPU adalah µg/m<sup>3</sup>, konsentrasi PM<sub>10</sub> sudah dalam satuan µg/m<sup>3</sup> sedangkan konsentrasi instrument O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> dalam ppb, sehingga data tersebut harus dikonversi terlebih dahulu ke µg/m<sup>3</sup> menggunakan persamaan:

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

dengan:

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

Untuk persamaan ini, nilai tekanan udara (p) dan temperatur udara (T) digunakan pada kondisi STP (temperatur udara 25 C=293K dan tekanan udara 1 atm). Koreksi tersebut dihitung dengan persamaan berikut:

$$X_1 = \frac{T_0}{T_1} \times \frac{p_1}{p_0} \times X_0$$

dengan:

- X<sub>0</sub> = konsentrasi awal
- X<sub>1</sub> = konsentrasi terkoreksi
- T<sub>0</sub> = temperatur udara STP (K)
- T<sub>1</sub> = temperatur udara rata-rata (K)
- p<sub>0</sub> = tekanan udara STP (Pa)
- p<sub>1</sub> = tekanan udara rata-rata (Pa)

Tabel 4. Batas Atas ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara) dalam Satuan SI sesuai dengan Lampiran Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997

ISPU	24 Jam PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	8 jam SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	8 Jam CO µg/m <sup>3</sup>	1 Jam O <sub>3</sub> µg/ m <sup>3</sup>	1 Jam NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0
50	50	80	5	120	0
100	150	365	10	253	0
200	350	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	600	2620	57.5	1200	3750

(nilai 0 disisipkan dalam tabel untuk mempermudah pemahaman dalam perhitungan).

Periode paparan seperti yang disebutkan dalam Tabel 4 menentukan resolusi data yang digunakan dalam perhitungan. Untuk data O<sub>3</sub> dan NO<sub>2</sub> yang digunakan dalam perhitungan adalah nilai maksimum dari rata-rata perjam dalam satu hari. Data konsentrasi CO dan SO<sub>2</sub> yang digunakan dalam perhitungan dipilih dari nilai maksimum dari rata-rata per 8 (delapan)

**AGUSTA KURNIAWAN ❖ PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA  
(CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> DAN PM<sub>10</sub>) DI BUKIT KOTOTABANG BERBASIS ISPU**

jam dalam satu hari. Sementara itu, konsentrasi PM<sub>10</sub> merupakan data rerata harian digunakan dalam perhitungan. Setelah dari data µg/m<sup>3</sup> diubah menjadi nilai indeks ISPU terhitung, dengan cara:

I<sub>b</sub> = ISPU batas bawah  
 X<sub>a</sub> = ambien batas atas  
 X<sub>b</sub> = ambien batas bawah  
 X<sub>x</sub> = konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran

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

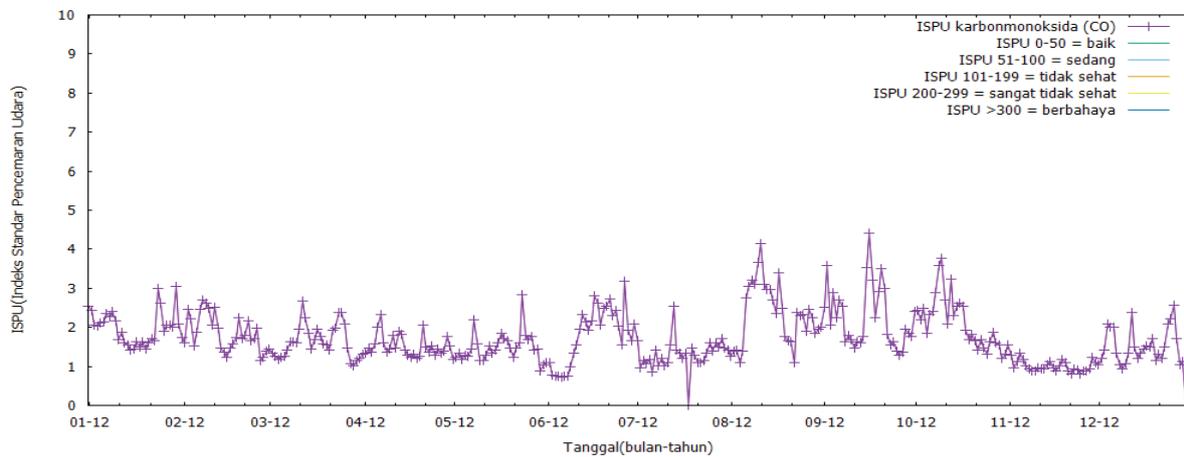
dengan:

I = ISPU terhitung  
 I<sub>a</sub> = ISPU batas atas

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data pengukuran di Bukit Kototabang GAW Station periode dari 1 Januari 2012 - 31 Desember 2012.

**Nilai ISPU Karbonmonoksida (CO)**

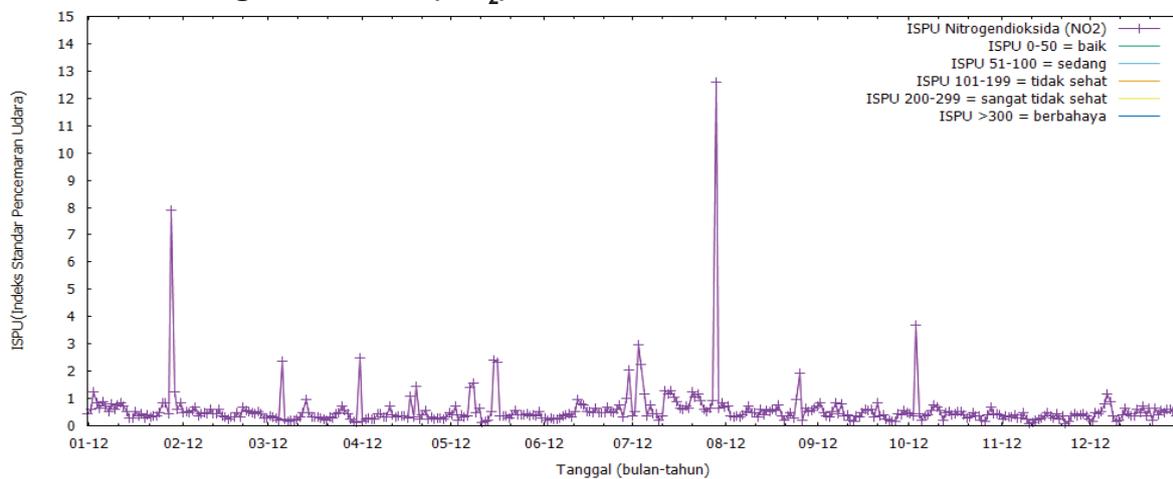


Gambar 4.  
 Nilai ISPU Karbonmonoksida (CO) pada tahun 2012 di Bukit Kototabang

Selama tahun 2012, dari pengukuran karbonmonoksida (Gambar 4) menunjukkan nilai ISPU berada pada kisaran 0-50, artinya

kondisinya udara baik dan tidak menimbulkan efek bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup.

**Nilai ISPU Nitrogendioksida (NO<sub>2</sub>)**

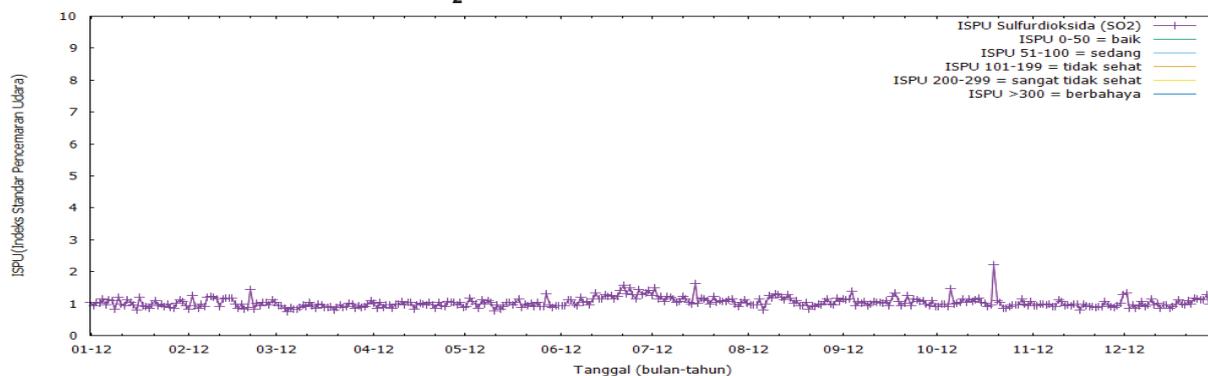


Gambar 5.  
 Nilai ISPU Nitrogendioksida (NO<sub>2</sub>) pada tahun 2012 di Bukit Kototabang

Serupa dengan pengukuran karbon-monoksida (CO), nilai ISPU Nitrogendioksida (NO<sub>2</sub>) di Bukit Kototabang selama tahun 2012 (gambar 5), berada pada kisaran 0-50, yang

artinya kondisinya udara baik dan tidak menimbulkan efek bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup.

### Nilai ISPU Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>)



Gambar 6.  
Nilai ISPU Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) pada tahun 2012 di Bukit Kototabang

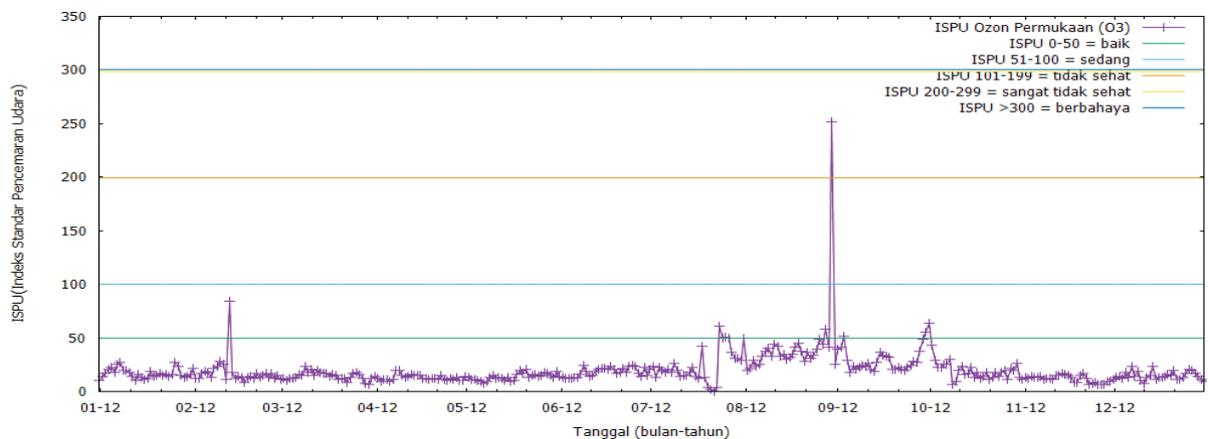
Sama dengan dua parameter sebelumnya CO dan NO<sub>2</sub>, Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) (gambar 6) juga menunjukkan kualitas udara yang baik dan tidak ada efek bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup selama tahun 2012 di Bukit Kototabang, dengan kisaran ISPU 0-50.

### Nilai ISPU Ozon Permukaan (O<sub>3</sub>)

Ozon permukaan (O<sub>3</sub>) (lihat gambar 7), selama tahun 2012 (366 hari) di Bukit Kototabang, mempunyai nilai ISPU sebanyak 358 hari berada pada kisaran 0-50 yang artinya kualitas udara baik, 7 (tujuh) hari berada pada kisaran 51-100 yang artinya berada pada kategori sedang (efeknya menimbulkan

luka pada beberapa spesies tumbuhan) dan 1 (satu) hari pada 30 Agustus 2012 berada pada kisaran ISPU 200-299, yang artinya kualitas udara sangat tidak sehat (Olah raga ringan mengakibatkan pengaruh pernapasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis).

Kualitas udara termasuk pada kategori sedang adalah 7 (tujuh) hari di mana nilai ISPU berada pada kisaran 51-100, yaitu pada 13 Februari 2012 (nilai ISPU 85), 24 Juli 2012 ( nilai ISPU 61), 26 Juli 2012 ( nilai ISPU 50), 28 Agustus 2012 (nilai ISPU 58), 3 September 2012 (nilai ISPU 52), 30 September 2012 (nilai ISPU 55) dan 1 Oktober 2012 (nilai ISPU 63).



Gambar 7.  
Nilai ISPU Ozon Permukaan (O<sub>3</sub>) pada tahun 2012 di Bukit Kototabang

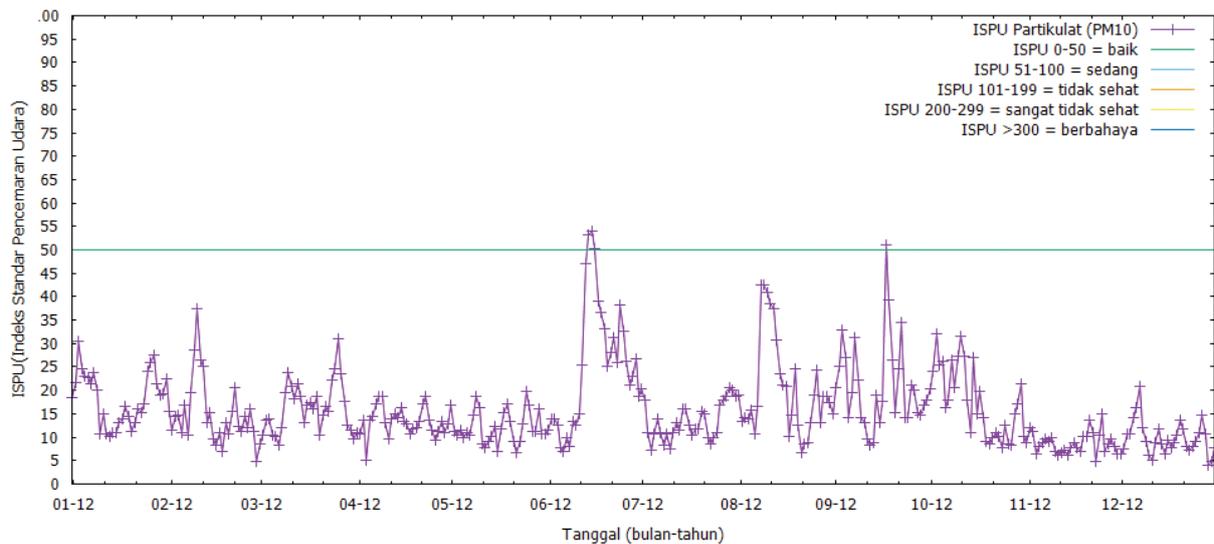
## AGUSTA KURNIAWAN ❖ PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> DAN PM<sub>10</sub>) DI BUKIT KOTOTABANG BERBASIS ISPU

Ada beberapa penyebab mengapa kualitas udara di Bukit Kototabang dari parameter ozon permukaan (O<sub>3</sub>) berkategori sedang (nilai ISPU 51-100) bahkan sampai kondisi sangat tidak sehat (nilai ISPU 200-299), antara lain karena ada transport polutan dari daerah lain misalnya dari Riau atau Palembang, dibuktikan dengan adanya titik api (hotspot) di pulau Sumatra karena kebakaran hutan, selain itu ada faktor lokal yang ikut berperan adalah adanya pembakaran ladang di sekitar lokasi station dan banyak pemakaian bahan VOC (*Volatile Organic Compounds*) sebagai precursor pembentukan ozon permukaan di sekitar lokasi Stasiun. Senyawa VOC yang biasanya digunakan misalnya pengencer cat, pengharum ruangan, dan sebagainya.

### Nilai ISPU partikulat (PM<sub>10</sub>)

Untuk parameter Partikulat (PM<sub>10</sub>) (gambar 8), selama tahun 2012 (366 hari) di

Bukit Kototabang, nilai ISPU sebanyak 363 hari berada pada kisaran 0-50 yang artinya kualitas udara baik, 3 (tiga) hari berada pada kisaran 51-100 yang artinya berada pada kategori sedang (efeknya terjadi penurunan pada jarak pandang). Tiga hari tersebut teramati pada 14 Juni 2012 (nilai ISPU 53), 15 Juni 2012 (nilai ISPU 54) dan 17 September 2012 (nilai ISPU 51). Penyebab turunnya kualitas udara dari Parameter partikulat (PM<sub>10</sub>) dari kategori baik menjadi sedang, adalah karena ada transport polutan misalnya karena adanya titik api (hotspot) di Pulau Sumatra, selain itu dari faktor lokal adalah adanya pembakaran ladang di sekitar lokasi station. Sumber dari kendaraan bermotor dan asap pabrik dapat diabaikan (Sudalma dkk., 2015 dan Kwak dkk., 2017) mengingat Bukit Kototabang adalah daerah yang terpencil dan jauh dari aktivitas manusia.



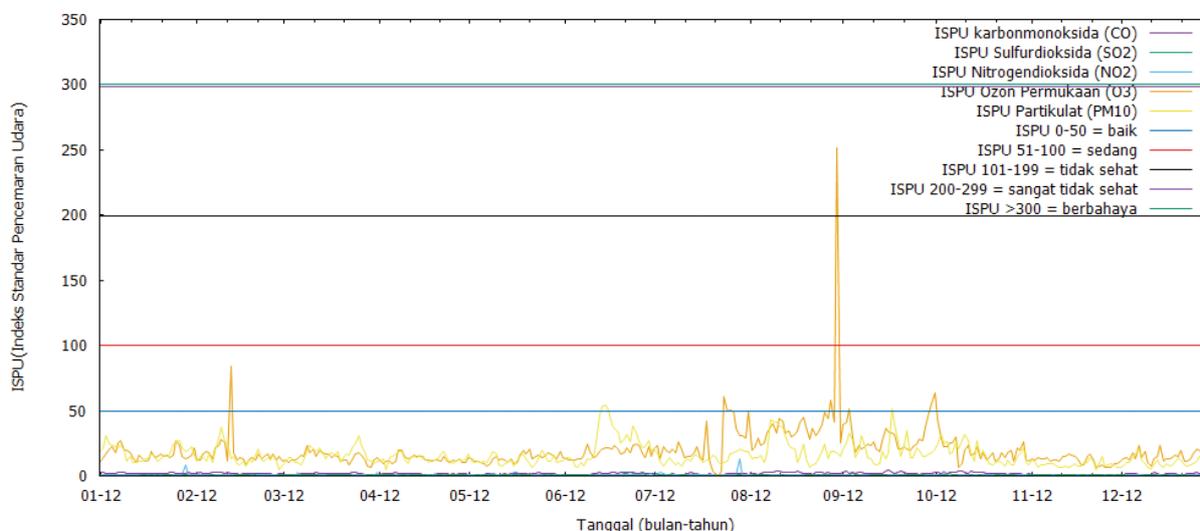
Gambar 8.

Nilai ISPU partikulat (PM<sub>10</sub>) pada tahun 2012 di Bukit Kototabang

### Hubungan antara Nilai ISPU dengan Kategori Kualitas Udara

Dengan melihat nilai dari parameter ISPU dapat dipastikan bahwa selama tahun 2012, kualitas udara di Bukit Kototabang masih berkategori baik, berada dalam kisaran ISPU 0-50. Penurunan parameter menjadi

kategori sedang terjadi 7 (tujuh) hari untuk parameter ozon permukaan (O<sub>3</sub>) dan 3 hari untuk parameter partikulat (PM<sub>10</sub>), dan menjadi kategori sangat tidak sehat hanya 1 (satu) hari untuk parameter ozon permukaan (O<sub>3</sub>) artinya hanya 11 hari dari 366 hari atau hanya 3 % berkategori tidak baik, sisanya 97 % berkategori baik.



Gambar 9. Nilai ISPU CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan PM<sub>10</sub> pada tahun 2012 di Bukit Kototabang

Ini berarti Bukit Kototabang masih dikatakan daerah yang bersih dan masih dapat digunakan sebagai *background monitoring* kualitas udara di Indonesia, dan status Bukit Kototabang GAW Station masih dikatakan sebagai *remote monitoring*.

**SIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisa di atas, maka dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut: Kualitas udara di Bukit Kototabang selama tahun 2012 tergolong baik, dibuktikan hanya 11 hari dari 366 hari atau hanya 3 % berkategori tidak baik, sisanya 97 % berkategori baik. Kategori tidak baik itu berasal dari parameter ozon permukaan (O<sub>3</sub>) dan partikulat (PM<sub>10</sub>). Perlunya data yang lebih panjang, minimal lima tahun dengan tersedianya semua parameter kualitas udara (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan PM<sub>10</sub>) untuk melihat status Bukit Kototabang GAW Station sebagai *background monitoring* dan *remote monitoring*. Kedua, perlu adanya lokasi lain daerah urban dan sub urban di Indonesia yang melakukan pengukuran kualitas udara secara terus-menerus.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Terima kasih penulis ucapkan kepada rekan-rekan dari Bukit Kototabang GAW Station yang telah melakukan pengukuran, perawatan terhadap instrumen SO<sub>2</sub> Analyzer

TS43i, NO<sub>2</sub> Analyzer TS42i-Trace Level, O<sub>3</sub> Analyzer TE49i, CO Analyzer HORIBA APMA 360, PM<sub>10</sub> Analyzer BAM1020 dan MAWS Vaisala.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dr Joerg Klausen, Dr. Christoph Zellweger, Dr. Martin S. dari EMPA (Swiss) yang telah melakukan audit komprehensif dan kalibrasi terhadap instrumen di Bukit Kototabang GAW Station, serta mengirimkan data-data CO dan Ozon permukaan ke *World Data Center for Green House Gasses (WDCGG)* dan mengirimkan data aerosol/partikulat PM<sub>10</sub> ke *World Data Center for Aerosol*. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Instrumentasi dan Kalibrasi BMKG yang telah melakukan kalibrasi terhadap peralatan MAWS Vaisala.

**DAFTAR PUSTAKA**

Battista, G., 2017. Analysis of the Air Pollution Sources in the city of Rome (Italy). *Energy Procedia* (126):392-397, doi:10.1016/j.egypro.2017.08.271

Famoso, F., Lanzafame, R., Monforte, P., Oliveri, C., Scandura, P. F. 2015. Air quality data for Catania: analysis and investigation casestudy 2012-2013. *Energy Procedia*.(81):644 - 654, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.049

**AGUSTA KURNIAWAN ❖ PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA  
(CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> DAN PM<sub>10</sub>) DI BUKIT KOTOTABANG BERBASIS ISPU**

- Gualtieri G., Camilli F., Cavaliere A., De Filippis T., Di Gennaro F., Dini F., Gioli B., Matese A., Nunziati W., Rocchi L., Toscano P., Di Lonardo S., Vagnoli C., Zaldei A. 2017. An integrated low-cost road traffic and air pollution monitoring platform to assess vehicles' air quality impact in urban areas. *Transportation Research Procedia* (27):609-616, doi: 10.1016/j.trpro.2017.12.043
- Henne, S., Klausen, J., Junkermann, W., Kariuki, J. M., Aseyo, J. O. and Buchmann, B. 2008. Representativeness and climatology of carbon monoxide and ozone at the global GAW station Mt. Kenya in equatorial Africa. *Atmos. Chem. Phys.*(8):3119-3139.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997 Tanggal 21 November 1997 Tentang : Perhitungan Dan Pelaporan Serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara, Jakarta.
- Klausen, J., Zellweger, C., Buchmann, B. and Hofer, P. 2003. Uncertainty and bias of surface ozone measurement at selected Global Atmosphere Watch sites. *Journal of Geophysical Research*. 108( D19): 4622, doi:10.1029/2003JD003710.
- Kurniawan A. 2010. Pengaruh Letusan Gunung Sinabung Terhadap Pengukuran Deposisi Asam di Bukit Kototabang. *Megasains* 1(4): 218-229, ISSN 2086-5589.
- Kwak, H. Y., Ko, J., Lee, S., Joh, C.H. 2017. Identifying the correlation between rainfall, traffic flow performance and air pollution concentration in Seoul using a path analysis Identifying the correlation between rainfall, traffic flow performance and air pollution concentration in Seoul using a path analysis. *Transportation Research Procedia* (25):3552-3563, doi:10.1016/j.trpro.2017.05.288
- \_\_\_\_\_, H.Y., Ko, J., Lee, S., Joh, C.H. 2017. Identifying the correlation between rainfall, traffic flow performance and air pollution concentration in Seoul using a path analysis, *Transportation Research Procedia* (25):3552-3563, doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.288.
- M. Speidela, R. Naua, F. Arnolda, H. Schlagerb, A., Stohl 2007. Sulfur dioxide measurements in the lower, middle and upper troposphere: Deployment of an aircraft-based chemical ionization mass spectrometer with permanent in-flight calibration. *Atmospheric Environment* (41): 2427-2437.
- Mairisdawenti, Dwi Pujiastuti, D., Ilahi, A.F. 2014. Analisis Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari, Temperatur Dan Kelembaban Udara Terhadap Fluktuasi Konsentrasi Ozon Permukaan Di Bukit Kototabang Tahun 2005-2010. *Jurnal Fisika Unand* 3(3):177-183, ISSN 2302-8491.
- Ozcan, N. S. and Cubukcu, K. M., 2015. Evaluation of Air Pollution Effects on Asthma Disease: The case of Izmir. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (202):448-455
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 tanggal : 26 mei 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Jakarta.
- Show, D. L. and Chang, S. C., 2016. Atmospheric impacts of Indonesian fire emissions: Assessing remote sensing data and air quality during 2013 Malaysian haze. *Procedia Environmental Sciences* (36):176-179, doi: 10.1016/j.proenv.2016.09.029
- Sudalma, S., Purwanto, P., and Santoso, L. W. 2015. The Effect of SO<sub>2</sub> and NO from Transportation and Stationary Emissions Sources to SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in Rain Water in Semarang. *Procedia Environmental Sciences* (23):247-252, doi: 10.1016/j.proenv.2015.01.037 .