

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Secara keadaan geologis, Indonesia berada di kawasan pertemuan tiga lempeng benua yaitu Australia, Pasifik, dan Eurasia. Perpaduan ketiga lempeng tersebut menciptakan rangkaian gunung berapi (*Volcanic Art*) yang membentang dari barat ke timur di Indonesia, sehingga terdapat sekitar 129 gunung berapi yang masih aktif di negara ini. Dalam hal keberadaan gunung api tersebut, pasti akan ada pengaruh yang langsung terhadap lingkungan, baik itu pengaruh positif maupun pengaruh negatif. Gunung api yang meletus dapat menimbulkan bahaya yang berpotensi membahayakan. Proses terjadinya letusan gunung api adalah ketika material magma naik dari dalam bumi ke permukaan bumi, baik dengan meledak secara tiba-tiba maupun mengalir secara perlahan. Gunung Merapi merupakan sebuah gunung berapi yang menunjukkan aktivitas vulkanisme yang sangat intens di seluruh dunia, hal ini dapat dibuktikan dengan seringnya gunung ini meletus dalam kurun waktu yang relatif singkat, sekitar 2-7 tahun. [5]

Erupsi gunung-api adalah fenomena alam yang tak terelakkan dan bisa menjadi bahaya alam. Meskipun demikian, tanda-tanda sebelum erupsi dapat dimanfaatkan untuk mengantisipasi dampak kerusakan yang disebabkan oleh erupsi gunung-api. Kehidupan manusia dan lingkungan di Indonesia yang berada dalam kondisi tektonik yang rentan terhadap bencana alam, terutama erupsi gunung-api, memerlukan analisis dan langkah-langkah untuk mengurangi dampak erupsi gunung-api (mitigasi).

Selain memiliki potensi mengancam, gunung api juga memberikan dampak positif bagi manusia. Sebagai negara yang memiliki banyak gunung api, Indonesia memiliki potensi energi geotermal yang sangat besar. Pengembangan pemanfaatan energi geotermal di Indonesia perlu dilakukan sebagai pilihan energi alternatif mengingat semakin berkurangnya sumber energi berbasis fosil seperti minyak dan batubara. Dari potensi energi geotermal Indonesia sebesar hampir 30.000 MW baru

sekitar 1000 MW yang telah digunakan.

Berdasarkan cara kerjanya, ancaman dari gunung berapi dikelompokkan menjadi ancaman utama dan ancaman pendukung. Ancaman utama adalah risiko yang ditimbulkan secara langsung oleh hasil letusan gunung api, seperti aliran lava, aliran piroklastik, jatuhnya batu pijar dan abu, gas beracun, dan lahar. Bahaya tambahan adalah bahaya yang muncul secara tidak langsung akibat dari material letusan gunung api seperti lahar dan longsoran. [6]

Menurut peneliti Edmonds dan rekan-rekannya, Tahun 2018, meskipun sering diabaikan, gas yang dilepaskan oleh gunung berapi bisa sangat berbahaya dan memiliki dampak signifikan terhadap kehidupan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Selama 600 tahun terakhir, lebih dari 2000 nyawa telah hilang akibat gas vulkanik yang langsung mematikan (Auker, dkk., 2013 dalam Edmonds, dkk., 2018). Banyak individu terdampak olehnya, dengan konsekuensi yang bervariasi seperti masalah pernafasan dan efek neurologis, serta kerugian dalam sektor pertanian dan kelaparan akibat suhu yang turun akibat penyebaran aerosol sulfat ke lapisan stratosfer selama ledakan yang hebat.

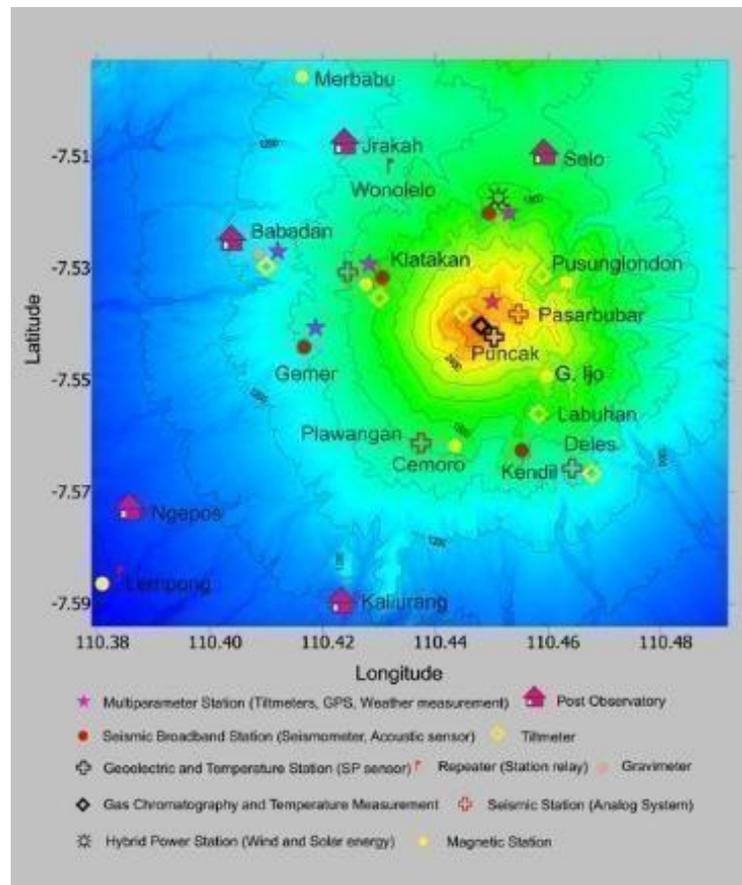
Dalam upaya mengurangi kemungkinan dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh gas vulkanik, seperti yang dikemukakan oleh Edmonds, et al. Proses tahun 2018 harus dimulai dengan mengenali rintangannya terlebih dahulu. Sulitnya mencapai cakupan yang memadai dalam pemantauan gas vulkanik menjadi tantangan utama. Contohnya, kadar gas mungkin rendah di beberapa daerah, namun di daerah lain mungkin memiliki kadar yang tinggi. Itulah sebabnya perlunya banyak dan tersebar jaringan peralatan pemantauan. Tantangan kedua melibatkan pengembangan sistem peringatan dini yang dapat secara efektif disampaikan kepada masyarakat sesegera mungkin. Mengingat gas berbahaya ini dapat dengan cepat menyebar luas dan merusak, mempersulit upaya untuk memberikan peringatan kepada orang-orang tentang risiko gas vulkanik.

Dalam rangka mengantisipasi permasalahan diatas, GPS diharapkan memiliki peranan yang signifikan dalam pemantauan gas beracun gunung api di masa depan. Gunung api yang lebih aktif akan lebih efektif

dimonitor secara terus menerus menggunakan GPS daripada metode lain, mengingat perlunya informasi geokimia yang cepat tersedia. (Ira Mutiara Anjasmara, 2016). [7]

2.2 KAJIAN TEORI

2.2.1 Metode Pemantauan Gas



Sumber : <http://www.merapi.bgl.esdm.go.id/pub/page.php?idf=11>

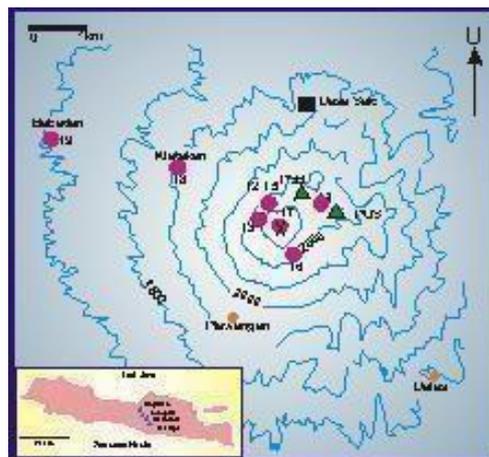
Gambar 2.1 Titik pengamatan pada Gunung Merapi

Dalam konteks pengamatan gunung api, gas vulkanik dapat memberikan berbagai informasi mengenai keadaan dan aktivitas sebuah gunung api. Peneliti gas dapat mempelajari hubungan antara aktivitas sebuah gunung api dengan komposisi kimia yang ada dalam gas-gas vulkanik. Matsuo (1961), Iwasaki (1962), Mizutani dkk. (1962) dalam penelitiannya mencatat bahwa H₂S dan CO₂ merupakan gas vulkanik yang dominan pada suhu yang rendah dan SO₂ dan H₂ meningkat kandungannya seiring dengan meningkatnya suhu.

Menurut penelitian Stoiber dan Rose (1970), terjadi penurunan

perlahan dalam rasio Cl/SO_2 dalam kondensat gas gunung api selama periode 1,3 tahun sebelum terjadinya erupsi di Gunung Santiago. Pada tahun 1980, tim Osaka dan rekan-rekannya berhasil melakukan prediksi tentang erupsi Gunung Kusatsu-Shirane yang terjadi pada tahun 1976. Mereka melakukan kajian geokimia selama dua tahun dan menemukan peningkatan rasio SO_2 / H_2S pada tahun sebelum erupsi terjadi. Pada tahun 1982, Hirabayashi dan rekan-rekannya melakukan studi kimia di Gunung Sakurajima. Mereka menemukan bahwa terdapat peningkatan yang signifikan dalam rasio HCl/SO_2 sekitar 1,5 bulan sebelum letusan vulkanik terjadi. Selain itu, mereka juga mengamati peningkatan konsentrasi H_2 dalam gas "bubble" yang ada di mata air panas sekitar dua minggu sebelum aktivitas erupsi meningkat pada pertengahan bulan Desember 1982. [8]

2.2.1.1 Penginderaan Jarak Jauh



Sumber : <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/542-g-merapi?start=4>

Gambar 2.2 Peta jaringan monitoring pada Gunung Merapi

Penginderaan jauh atau remote sensing adalah suatu disiplin ilmu yang memanfaatkan peralatan untuk mengumpulkan informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena dengan menganalisis data yang diperoleh tanpa melakukan hubungan fisik langsung dengan objek yang dimaksud (Lillesand dan Kiefer, 1979). Sesuai dengan penjelasan di atas, alat yang dimaksud adalah perangkat pengindera atau sensor. Secara umum, berbagai jenis kendaraan seperti satelit, balon udara, pesawat, dan wahana lainnya seringkali membawa sensor. Hasil perekaman oleh alat

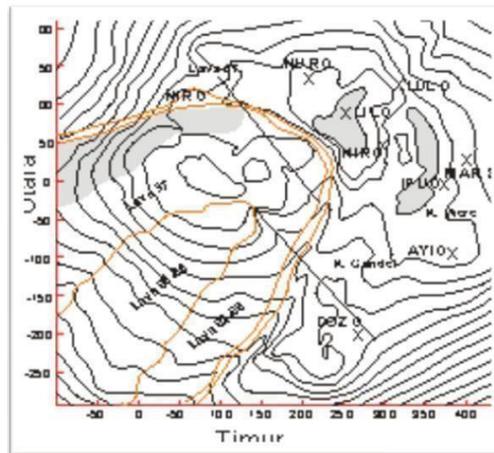
yang dibawa oleh suatu wahana ini selanjutnya disebut sebagai data penginderaan jauh. Lindgren (1985 dalam Sutanto, 1987) mengungkapkan bahwa penginderaan jauh adalah sejumlah metode yang dikembangkan untuk mendapatkan dan menganalisis data tentang planet ini. Data ini terutama berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan dari permukaan bumi. Sudah ada banyak kemajuan dalam pengembangan teknik-teknik yang berbeda untuk memperoleh dan menganalisis data mengenai planet Bumi.

Dari pandangan beberapa pakar di atas, dapat diartikan bahwa penginderaan jarak jauh terdiri dari tiga elemen inti yakni benda yang diindera, alat sensor untuk merekam benda tersebut, serta gelombang elektronik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi. Saat komponen ini berinteraksi, menghasilkan data penginderaan jauh yang kemudian dapat diketahui jenis obyek atau fenomena yang ada di area tersebut melalui proses interpretasi. Kemajuan teknologi dirgantara telah mempercepat perkembangan penginderaan jauh. Sebelumnya, perekaman data permukaan bumi dalam penginderaan jauh lebih sering dilakukan menggunakan pesawat udara dan balon udara. Namun, dengan adanya kemajuan dalam penerbangan antariksa dan penggunaan satelit untuk berbagai tujuan, termasuk perekaman permukaan bumi, teknologi penginderaan jauh mengalami perkembangan yang pesat. Hal yang sama juga terjadi pada penggunaan sensor yang dibawa oleh berbagai wahana, dimana ada peningkatan baik dalam jenis sensor yang digunakan maupun tingkat keakuratan hasil penginderaan.

Mulai dari akhir tahun 1960-an, praktisi ilmu vulkanologi secara rutin mulai melakukan percobaan untuk memperkirakan jumlah gas yang diproduksi oleh gunung berapi dengan menggunakan teknik penginderaan jarak jauh. Metode ini memiliki ketertarikan karena pengukuran dilakukan dari jarak yang jauh dari gunung, sehingga peralatan dan pengamat tidak berada di dekat letusan gas atau kawah. Dalam hal ini, metode tersebut lebih aman dan lebih praktis untuk dilakukan. Selain itu, metode ini juga dapat menghasilkan lebih banyak gas yang dapat dipantau daripada mengambil sampel gas secara langsung. Terdapat berbagai macam teknik penginderaan jarak jauh untuk gas vulkanik, di antaranya *Differential*

Optical Absorption Spectroscopy (DOAS), *Corelation Spectroscopy* (COSPEC), *Flyspec* untuk mengukur emisi SO₂, dan *Google Earth Engine* untuk mengukur SO₂ yang terhembus ke statrosfer. [9]

2.2.1.2 Perangkat *Google Earth Engine*



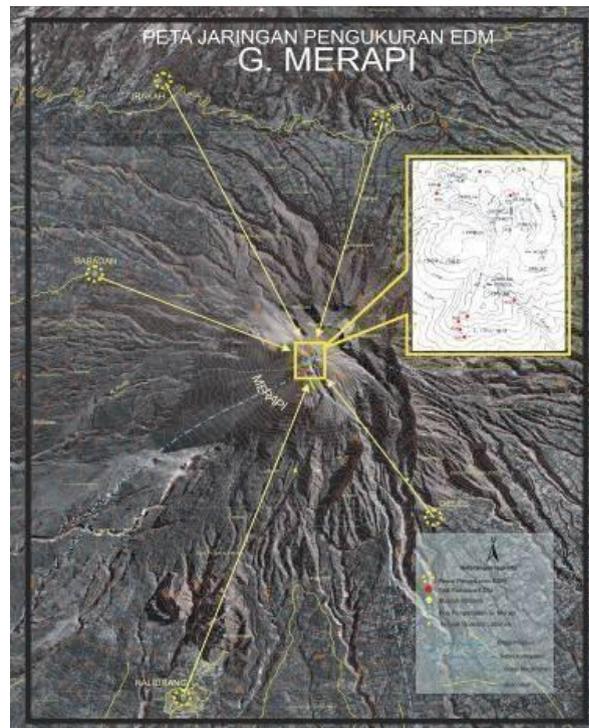
Sumber : <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/542-g-merapi?start=4>

Gambar 2.3 Peta jaringan GPS pada Gunung Merapi

Google Earth Engine merupakan *platform cloud computing* yang disediakan oleh Google untuk mengakses, memanipulasi, dan menganalisis data geospasial dari berbagai sumber termasuk citra satelit, peta, dan data lainnya. Platform ini dikembangkan untuk membantu peneliti, pengamat, dan praktisi di berbagai bidang ilmu seperti penginderaan jauh, lingkungan, konservasi, pertanian, dan perubahan iklim. Platform ini dapat melakukan analisis spasial yang cepat dan akurat menggunakan data yang besar dan kompleks. GEE memungkinkan pengguna untuk mengakses data geospasial dalam jumlah besar dari berbagai sumber satelit GPS seperti Landsat, Sentinel, dan MODIS. GEE akan mengukur jumlah sulfur dioksida yang terhambur ke atmosfer dari waktu ke waktu. [10]

Fungsi dari *Google Earth Engine* adalah untuk menjalankan pengembangan algoritma interaktif yang bersifat global, mendorong kemampuan *big data* dalam *remote sensing* hingga ke ujung, menawarkan ilmu pengetahuan yang berdampak dengan menggunakan *big data*, dan membuat *progress substansial* pada tantangan global terkait dengan *dataset* geospasial yang sangat besar.

2.2.1.3 Perangkat COSPEC



Sumber : <http://mgm.slemankab.go.id/pemantauan-deformasi/>

Gambar 2.4 Peta jaringan COSPEC pada Gunung Merapi

Corelation Spectroscopy (COSPEC) pertama kali dikembangkan untuk memantau polusi industri dengan mengukur emisi SO₂. Sejak tahun 1971, COSPEC diperkenalkan kepada komunitas vulkanologi sebagai sebuah alat penginderaan jauh untuk mengukur emisi SO₂ dari gunungapi (Stoiber dkk., 1983). Lalu para pakar vulkanologi mulai menggunakan metode COSPEC untuk memantau gas vulkanik di berbagai gunungapi di seluruh dunia (seperti yang dilakukan Stoiber dan Jepsen pada tahun 1973; atau yang dilakukan oleh Stoiber dan rekan pada tahun 1980, 1986; Bluth dan rekan pada tahun 1994; Casadevall dan rekan pada tahun 1994; Elias dan rekan pada tahun 1998; Delgado dan rekan pada tahun 2001). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rodríguez dan rekannya pada tahun 2004.

COSPEC menerapkan pengukuran kandungan SO₂ dengan memanfaatkan sinar ultraviolet (UV) sebagai sumber daya yang digunakan. Cahaya memasuki alat dan berjalan melalui sejumlah cermin, lensa, dan celah untuk mencapai sensor dan fotomultiplier di mana cahaya diubah menjadi sinyal listrik dan diperkuat. Apabila terdapat gas dalam alat, COSPEC akan mengidentifikasi sejumlah radiasi ultraviolet yang diserap oleh SO₂.

Sinar ultraviolet akan diserap oleh SO₂ yang terdapat dalam *plume* pada jalur optik dengan unit ppm-meter dan pada tekanan atmosfer. Proporsi absorpsi bergantung pada hasil perkalian antara konsentrasi SO₂ (dinyatakan dalam ppm) dengan panjang jalur optik (dinyatakan dalam meter). Penyerapan ini terjadi ketika panjang gelombang mencapai 300 nm. Grafik yang dihasilkan oleh spektrometer akan menunjukkan adanya sebuah puncak. Rata-rata tinggi dari puncak memiliki korelasi positif dengan jumlah SO₂ yang terdapat di sepanjang jalur optik dalam *plume*, yang diukur dalam satuan konsentrasi perpanjangan *optic* (ppm-m)..

Data yang diperoleh dari pengukuran telah diproses untuk mengestimasi konsentrasi SO₂ yang terdeteksi. Pada analisis kromatografi, setiap pengukuran pada kromatogram diukur tinggi awal dan akhirnya serta tinggi puncaknya. Secara umum, pembuatan pengukuran menggunakan COSPEC dilakukan di tempat yang konsisten, dengan meletakkan COSPEC di tripod yang dapat berputar dan melakukan pemindaian di daerah asap. COSPEC juga bisa digunakan di kendaraan seperti mobil atau perahu, yang bergerak di atas permukaan. COSPEC bisa digunakan di helikopter tetapi memerlukan biaya yang tinggi dan terbatas dalam hal geografi. [11]

2.2.1.4 Perangkat DOAS

Sejak tahun 2001, Penggunaan miniatur spektrometer UV ini memungkinkan para ahli vulkanologi untuk memantau gas-gas vulkanik yang terkandung dalam gas awan panas. Sebelumnya, para ahli vulkanologi menggunakan COSPEC, yang jauh lebih besar, mahal, dan membutuhkan daya yang lebih besar. Dengan adanya perkembangan miniatur spektrometer UV, para ahli vulkanologi dapat lebih efektif dalam memantau gas vulkanik dengan biaya yang lebih rendah. Pada tahun 2002, McGonigle dan rekan-rekannya melakukan sebuah penelitian. Pada tahun 2002, Mc Gonigle dan Oppenheimer melaporkan temuan mereka, diikuti oleh Edmonds dan rekan-rekan pada tahun 2003. Pada tahun 2003, Oppenheimer dan Mc Gonigle melaporkan temuan mereka dalam penelitian ini, sedangkan pada tahun yang sama, Horton dan rekan-rekannya juga melakukan penelitian yang sejalan dengan kesimpulan yang

sama seperti temuan Oppenheimer dan Mc Gonigle pada tahun 2004. Pada tahun 2005, Williams-Jones dan rekan-rekannya melakukan sebuah penelitian. Pada tahun 2005, DOAS memiliki berat yang kurang dari satu kilogram, tidak termasuk laptop. Ukuran DOAS lebih kecil daripada ukuran COSPEC dengan dimensi sekitar 90 mm x 65 mm x 35 mm. Daya yang diperlukan oleh mini DOAS hanya sebesar 1W, untuk membandingkannya dengan COSPEC yang memerlukan daya sebesar 23W (Galle dkk, 2002).

Perangkat baru ini menangkap spektrum UV dengan resolusi <1-nm, menawarkan fleksibilitas dalam metode pengambilan spektral, dan target spesies gas (Bobrowski dkk. 2003; O'Dwyer dkk. 2003). Perangkat ini memiliki kemampuan untuk meningkatkan beberapa aspek dalam pengumpulan data, metode, dan memberikan peluang bagi pengguna untuk aplikasi tersebut merupakan suatu program komputer yang telah dirancang untuk digunakan dalam suatu keperluan atau tujuan tertentu. DOAS menggunakan spektrometer USB *Ocean Optics*, dan terdiri dari teleskop, serat optik, cermin *collimating*, celah $\sim 50\text{-}\mu\text{m}$, resolusi spektral instrumen 0,6 nm dalam rentang panjang gelombang 245-380 nm. kisi bidang, cermin melengkung, dan *charged-coupled-device* (CCD) linier. Informasi tentang spektrum yang dihasilkan dapat secara langsung ditampilkan di komputer melalui koneksi USB, yang juga berperan sebagai sumber daya. Umumnya, dalam sistem ini terdapat sebuah antena GPS yang termasuk, yang memungkinkan untuk menentukan posisi dan waktu ketika data dikumpulkan.

2.2.1.5 Perangkat FTIR

Fourier transform infrared (FTIR) merupakan alat yang digunakan untuk memeriksa kadar gas dalam plume dengan menggunakan teleskop infrared yang mengarah pada sumber panas seperti danau lava, pancuran lava, lampu infrared, dan matahari. Radiasi inframerah dikoleksi dan disatukan ke dalam alat spektrometer. Kemudian, pola spektrum diambil dan dianalisis untuk mengetahui sejauh mana gas-gas dalam plume tersebut mengabsorpsi radiasi tersebut. Metode tersebut memiliki sensitivitas terhadap CO₂, SO₂, H₂O, CO, HCl, dan HF, sehingga data yang dihasilkan memberikan informasi detail mengenai kandungan gas

plume.

2.2.1.6 MULTI GAS

Multi-GAS adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur gas-gas vulkanik, seperti CO₂, SO₂, dan H₂S, yang dilepaskan melalui lubang-lubang alami di gunung berapi maupun keluarnya gas vulkanik melalui difusi di danau kawah. Sensor yang biasanya digunakan adalah sensor CO₂ dan Infra Merah yang diatur untuk mengukur CO₂ dalam rentang konsentrasi 0 hingga 5000 ppm dan H₂O dalam rentang 0 hingga 80 ppt. Namun, sensor elektrokimia untuk mengukur konsentrasi SO₂ dan H₂S memiliki rentang yang sama, yaitu 0-100 ppm. Sensor gas telah sepenuhnya terintegrasi ke dalam satu paket yang juga mencakup datalogger, elektronik, dan unit GPS.

Pemanfaatan Multi GAS untuk mengukur gas memiliki berbagai kelebihan karena pengukuran gas tidak dilakukan secara langsung pada lubang rekahannya. Secara alami, gas vulkanik telah dilepaskan dan mencampur dengan udara sekitarnya. Hal ini mengurangi risiko bahaya bagi para personel yang berada di lapangan. Pengukuran Multi-GAS dapat dilakukan secara teratur atau berkala di lokasi langsung, tergantung pada kebutuhan, atau dapat diprogram secara otomatis dengan interval pengukuran setiap 6 jam. Data pengukuran disalurkan secara langsung ke Pos Pengamatan Gunung api menggunakan sistem telemetri tertentu. Pengukuran pada data dapat secara langsung ditampilkan dalam waktu nyata, baik itu dalam bentuk konsentrasi tiap gas dalam satuan ppmv atau perbandingan gas menggunakan aplikasi khusus, umumnya software LoggerNET dan software RTMC (*Real Time Monitor and Control*).

2.2.1.7 TOMS

Total Ozone Mapper Spectrometer (TOMS) pertama kali diluncurkan terjadi pada tahun 1978 ketika pesawat ruang angkasa Nimbus 7 digunakan sebagai wadahnya. Sejak saat itu, penggunaan wilayah ultraviolet dekat telah menjadi umum dalam pengukuran ozon stratosfer. Perangkat ini digunakan khususnya untuk mengukur jumlah besar SO₂ yang dilepaskan ke stratosfer oleh erupsi gunung api. Sejak 1979, aplikasi TOMS telah memungkinkan pengukuran jumlah SO₂ yang dilepaskan dari lima puluh letusan gunung api di berbagai tempat di dunia.

Terdapat beberapa kekurangan pada TOMS, di mana tingkat kejelasan gambar yang dapat dicapainya hanya sejauh 50 km yang tergolong kasar. Selain itu, TOMS juga mengalami kesulitan dalam melakukan pengukuran saat malam hari, pada sudut matahari yang rendah, atau pada daerah dengan lintang tinggi. Ini karena TOMS telah dirancang untuk mengukur emisi SO₂ yang dilepaskan oleh letusan gunung berapi yang cukup besar, sehingga tidak dapat mendeteksi tingkat emisi yang rendah. Pada tahun 1996, TOMS generasi kedua diperkenalkan melalui penggunaan satelit *Earth Probe* dan ADEOS. Tujuan dari perangkat ini adalah untuk meningkatkan kemampuan dalam mengukur kadar SO₂ vulkanik dengan mengoptimalkan resolusi spasial dan panjang gelombang. Namun, pada tahun 1997, misi satelit ADEOS tidak berhasil (Stix dan Gaonac'h dalam Sigurdsson, 2000).

2.2.2 GNSS (*Global Navigation Satellite System*)

2.2.2.1 Pengertian GNSS



Sumber : <https://www.globalpos.com.au/what-is-gnss>

Gambar 2.5 Teknologi GNSS

GNSS merupakan adalah suatu rangkaian satelit yang terdiri dari sekelompok satelit yang mengirimkan sinyal frekuensi untuk memberikan informasi lokasi dan waktu. Sistem ini tersedia di seluruh bagian permukaan bumi. GNSS memegang peranan yang penting dalam bidang navigasi. Ada

beberapa sistem navigasi satelit global yang saat ini tersedia, yaitu GPS dari Amerika Serikat, COMPASS atau Bei-Dou dari China, GALILEO dari Uni Eropa, dan GLONASS dari Rusia. India dan Jepang telah memperkuat kemampuan sistem navigasi satelit regional dengan mengirimkan beberapa satelit ke luar angkasa untuk melengkapi pelayanan sistem global yang sudah ada dalam memberikan cakupan tambahan di wilayah tertentu. [12]

1) GPS (*Global Positioning System*)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dioperasikan oleh Amerika Serikat adalah sebuah sistem satelit. GPS pada awalnya memiliki peran sebagai alat bantu navigasi, namun kini telah mengalami perkembangan berarti sehingga mampu dimanfaatkan sebagai upaya untuk mengurangi dampak bencana. GPS, yang awalnya dikembangkan untuk keperluan militer, telah menjadi sinyal utama yang digunakan dalam semua perangkat navigasi. Kemudian, sejak akhir tahun 2000, GPS juga dibuka untuk penggunaan publik. Versi komersil menawarkan tingkat akurasi hingga pada tingkat centimeter. Sistem ini diciptakan dengan tujuan memberikan data tentang posisi, kecepatan, dan juga informasi waktu dalam tiga dimensi. Sistem GPS terdiri dari tiga bagian utama, yaitu segmen ruang angkasa, segmen kontrol, dan segmen pengguna. Satelit-satelit angkasa terdiri dari 24 unit yang berfungsi dalam 6 lintasan orbit pada ketinggian 20.200 km dengan waktu revolusi sebesar 12 jam (artinya setiap satelit akan kembali ke posisi awalnya dalam 12 jam). Segmen Pengawasan atau Pemantauan memiliki satu pusat utama di Colorado Springs, dan terdapat juga lima stasiun pengawasan dan tiga antena yang terletak di berbagai lokasi di seluruh dunia. Untuk pengguna, dibutuhkan suatu penerima GPS yang umumnya terdiri dari sebuah perangkat penerima sinyal, sebuah pemroses data, dan sebuah antena. [13]

2) GLONASS

Sistem GLONASS, yang awalnya dikembangkan oleh Rusia, diperkenalkan kepada masyarakat pada tahun 2007 dan menjadi sepenuhnya operasional pada tahun 2011. Saat ini, hanya 24 dari total 31 satelit navigasi yang sedang beroperasi sepenuhnya. Pada bulan Desember 2012, Rusia menyelesaikan semua hal formasi satelit navigasi

GLONASS mereka dan sekarang, sinyal navigasi GLONASS sedang digunakan sebagai sinyal pendamping atau pembantu untuk sinyal GPS. Sistem navigasi GLONASS menggunakan sistem koordinat yang dikenal sebagai PZ-90 sebagai titik acuan. Lokasi kutub utara dapat ditentukan dengan rata-rata posisinya antara tahun 1900 hingga 1905. Ini berbeda dari datum koordinat GPS, yaitu WGS 84, yang mengacu pada posisi Kutub Utara pada tahun 1984. Pada tanggal 17 September 2007, dilakukan pembaruan pada datum PZ-90 yang memiliki perbedaan kurang dari 40 cm (16 in) dibandingkan dengan WGS 84 dalam beberapa arah. [14]

3) BEIDOU

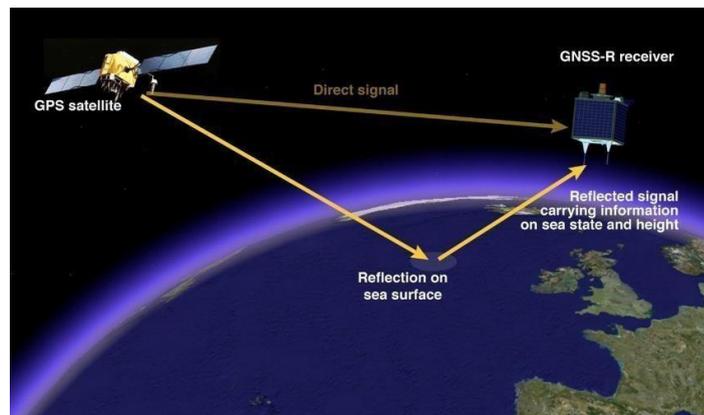
BEIDOU ialah satu sistem satelit pengarahan dan pengenalanposisi yang dipunyai serta dioperasikan oleh Tiongkok. Sama seperti GPS dan GLONASS, BEIDOU juga mampu memberikan informasi mengenai lokasi, kecepatan, dan waktu dengan cepat dan akurat tanpa terikat oleh cuaca. Pada tahun 1980-an, Chen Fangyun bersama timnya mengembangkan ide sistem satelit navigasi Tiongkok yang orisinal. Meskipun mulai pada tahun 1997, perkembangan solusi global sistem satelit navigasi regional dimulai. Namun, persetujuan formal untuk pengembangan dan penyebaran sistem satelit Beidou oleh pemerintah baru disetujui pada tahun 2006. Di tahun 2021, diharapkan bahwa BEIDOU akan dapat menawarkan layanan navigasi global yang sejajar dengan GPS, GLONASS, atau Galileo. [15]

4) GALILEO

Galileo adalah sebuah sistem satelit navigasi global yang dikembangkan dan dioperasikan oleh Uni Eropa. Dengan tingkat ketepatan yang sangat tinggi, satelit ini digunakan untuk berbagai keperluan navigasi di seluruh dunia. Manajemennya dilakukan secara terpusat dan diawasi oleh pihak sipil Eropa. Misi Uni Eropa dalam menciptakan satelit ini adalah untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan GPS dan untuk dapat bersaing dalam industri satelit dengan negara-negara maju seperti Amerika Serikat. Sistem ini dirancang untuk memberikan informasi tentang posisi dan kecepatan dalam tiga dimensi, serta waktu secara terus-menerus di seluruh dunia kepada banyak orang

secara bersamaan, tanpa terpengaruh oleh faktor waktu dan kondisi cuaca. Satelit ini baru saja diperkenalkan dan awalnya ditempatkan di orbit pada tahun 2005, dengan tujuan untuk berfungsi secara optimal pada tahun 2008. Secara prinsip, penentuan posisi menggunakan satelit Galileo hampir serupa dengan penentuan posisi menggunakan GPS. Kedua satelit navigasi ini memiliki perbedaan hanya pada spesifikasi dan kapabilitasnya. [16]

2.2.2.2 Sistem GNSS



Sumber : <https://www.geospatialworld.net/blogs/what-are-the-various-gnss-systems/>

Gambar 2.6 Cara kerja sistem GNSS

Pengamatan Geokimia menggunakan metode survei GNSS melibatkan melakukan pengamatan pada titik-titik yang telah tersebar di area yang ingin diamati. Kemudian, dilakukan observasi menggunakan GNSS dalam waktu yang sudah ditentukan, secara berkala dan terus-menerus untuk mendapatkan koordinatnya dengan akurasi yang tinggi. Mengamati secara berkala akan menghasilkan koordinat yang bervariasi dari waktu ke waktu, yang kemudian dapat dianalisis dan dipelajari pola serta perubahan kecepatan koordinat pada titik pengamatan tersebut. Metode survei GNSS memiliki beberapa keunggulan dalam melakukan studi pengamatan geokimia. :

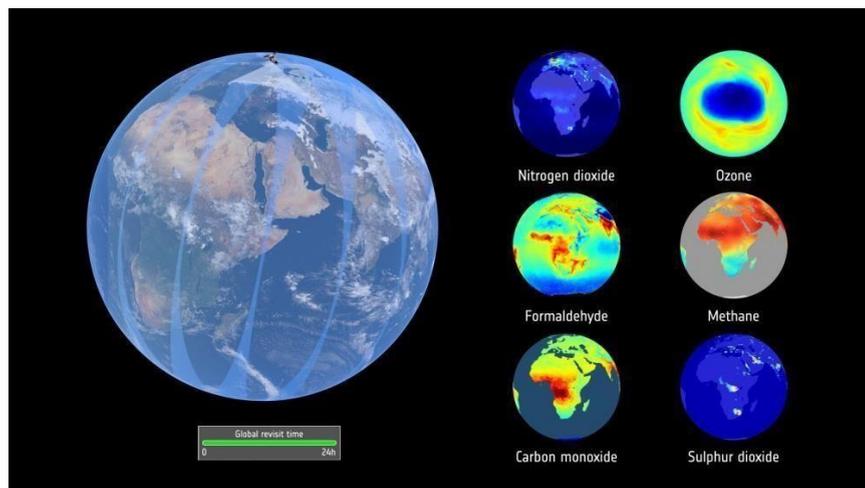
- 1) Hasil survei GNSS dapat menghasilkan informasi tentang pergerakan benda dalam tiga dimensi, terdiri dari pergerakan horizontal dalam dua dimensi dan pergerakan vertikal dalam satu dimensi. Informasi ini dapat digunakan untuk mengestimasi penurunan tinggi permukaan tanah dan perpindahan horizontal tanah.
- 2) Survei GNSS menyediakan angka - angka arah gerakan dalam suatu

sistem koordinat referensi yang sama. Hingga bisa mengawasi pergerakan suatu daerah regional dengan cara yang efektif dan efisien.

- 3) Melakukan survei GNSS tidak terikat oleh kondisi waktu dan cuaca karena alat pengukur (*receiver* GNSS) dapat digunakan pada siang atau malam hari dan tahan terhadap air (*water resist*).
- 4) Tidak perlu memasang *benchmark* di tempat tertinggi agar bisa saling terlihat antara stasiun pengamatan. Ini membuat pencapaian benchmark menjadi tidak sulit dan membutuhkan waktu yang singkat. [17]

2.2.3 Parameter Pengukuran *Google Earth Engine*

2.2.3.1 Data Satelit Sentinel 5P



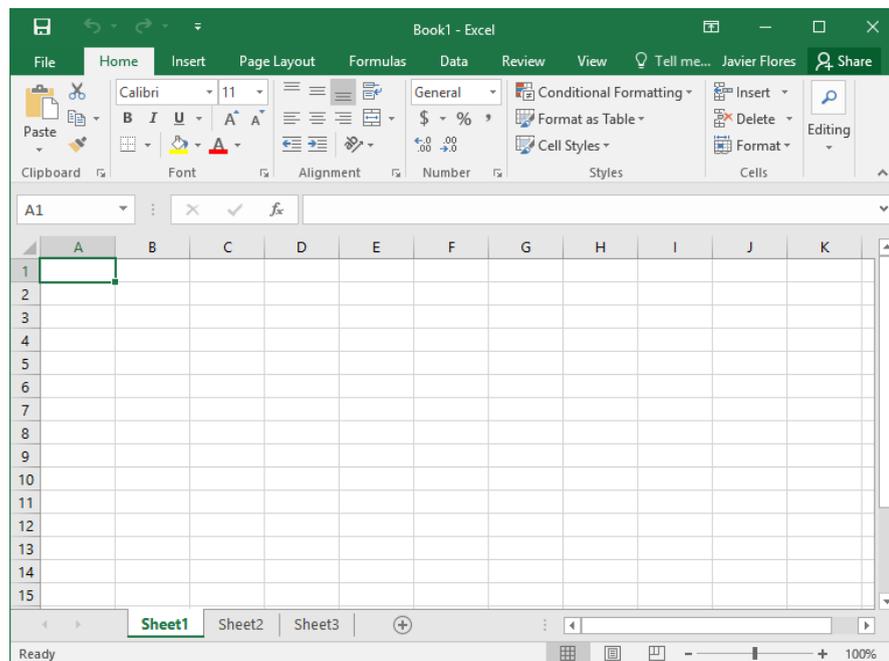
Sumber : <http://yoghaken.blogspot.com/2014/10/data-rinex.html>

Gambar 2.7 Pengambilan data Satelit Sentinel 5P

Sentinel-5 Precursor atau Sentinel-5P adalah misi pertama yang secara khusus dirancang untuk mengawasi keadaan atmosfer planet Bumi. Satelit ini menjalankan fungsinya di orbit kutub yang terkait secara sinkron dengan lokasi matahari (*sun-synchronous orbit*). ESA menyediakan informasi mengenai beberapa jenis gas seperti sulfur dioksida (SO₂), methane (CH₄), formaldehida (HCHO), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), dan karbon monoksida (CO). Banyak dari kontaminan udara berasal dari aktivitas manusia, terutama pengolahan limbah, kegiatan industri, pertanian, dan emisi dari bahan bakar fosil. Meskipun perlu diingat bahwa terdapat sumber alami emisi gas, seperti sulfur dioksida dari letusan gunung berapi dan karbon monoksida dari kebakaran hutan.

Pengawasan kadar gas SO₂ di suatu wilayah dapat dilakukan dengan memanfaatkan data satelit Sentinel 5 Precursor yang menggunakan *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI). TROPOMI pada platform *Copernicus Sentinel-5 precursor* (Sentinel-5P) akan mengamati radiasi ultraviolet yang dipancarkan oleh bumi dengan tingkat spektral yang tinggi dan resolusi spasial yang lebih baik (piksel berukuran 7 km × 3,5 km) jika dibandingkan dengan OMI dan GOME-2, peralatan yang digunakan sebelumnya. Satelit Sentinel-5P diterbangkan oleh *European Space Agency* (ESA) pada 13 Oktober 2017. Tujuan utamanya adalah untuk melakukan pemantauan terhadap kualitas udara dengan fokus pada berbagai jenis gas, termasuk O₃, NO₂, SO₂, HCHO, CO, dan CH₄. Dataset yang berasal dari satelit sentinel-5P memiliki dua versi, kecuali untuk pengamatan CH₄. Versi pertama adalah *Near Real-Time* (NRTI) dan versi kedua adalah *offline* (OFFL). [18]

2.2.3.2 Software Microsot Excel



Sumber : <https://www.thinksphysics.com/2019/08/origin-aplikasi-analisis-data-dan-plot.html>

Gambar 2.8 Tampilan *software excel*

Microsoft Excel adalah merupakan software spreadsheet yang berfungsi untuk menyusun, menghitung, serta menganalisis data angka yang disusun dalam format tabel. Program ini diciptakan oleh perusahaan Microsoft Corporation dan pertama kali diluncurkan pada

tahun 1985. Excel memperbolehkan pengguna untuk melakukan perhitungan matematika, melaksanakan grafik, serta menyampaikan informasi dalam format yang lebih sederhana dipahami. [19]

Excel sangat berguna untuk melakukan perhitungan, proyeksi, analisis, dan presentasi data dalam format tabel dengan berbagai jenis tabel yang tersedia, termasuk grafik batang, grafik lingkaran, grafik garis, dan banyak lagi. Program aplikasi MS Excel telah mengalami pengembangan dari versi sebelumnya yang lebih meningkatkan fungsionalitasnya dan fokus pada membuat spreadsheet ini menjadi lebih familiar, mudah digunakan, fleksibel, mudah terintegrasi dengan program office lainnya, dan juga dengan kemampuan untuk terhubung langsung ke internet. Untuk menggunakan Excel, kita perlu mengaktifkan sistem operasi Windows terlebih dahulu..

Awal mula sejarah Microsoft Excel berawal pada tahun 1985, saat Microsoft Corporation meluncurkan perangkat lunak ini sebagai aplikasi pengolah angka untuk sistem operasi Macintosh. Pada awalnya, Excel hanya berfungsi sebagai perangkat pengolah angka yang simpel. Namun, tingkat kepopulerannya meningkat tajam ketika versi Windows diluncurkan pada tahun 1987. Dalam perjalanannya, Excel terus mengalami peningkatan dan inovasi, mengembangkan fitur-fitur seperti pemformatan, pembuatan grafik, dan kemampuan makro untuk otomatisasi. [20]