

## BAB I

# Gerakan Bumi Dan Implikasi Terhadap Kehidupan



Gambar 1.1. Garis yang ditunjuk panah adalah  $0^{\circ}$  bujur Barat dan Bujur Timur. Terlihat garis tersebut melewati kota kecil Greenwich di London (diambil dari Google Earth).

### 1.1 Pendahuluan

Bumi berputar pada porosnya (*Rotation: Rotasi*) memerlukan waktu selama 24 jam (23 jam, 56 menit, 4 detik). Perputaran bumi ini mengakibatkan adanya perbedaan bacaan gaya tarik gravitasi bumi di semua tempat berdasarkan perbedaan lintang (*Latitude*), selain akibat adanya perbedaan distribusi massa di bawah permukaan. Sumbu perputaran bumi tidak tegak lurus terhadap bidang edar bumi (*elliptical plane*). Sudut antara garis katulistiwa dengan bidang edar bumi adalah  $23,5^{\circ}$ . Hal ini mengakibatkan adanya perbedaan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan bumi di berbagai tempat dan di berbagai waktu. Kemiringan sumbu rotasi ini juga mengakibatkan adanya perbedaan lamanya siang dan malam di berbagai tempat pada waktu waktu tertentu. Pada Bab I ini akan di bahas tentang peredaran Bumi mengelilingi matahari dan berbagai implikasi terhadap kehidupan di Bumi, namun sebelum itu akan di diskusikan sistem koordinat bumi dan penggunaan google earth dalam mempelajari navigasi lokasi pada permukaan bumi.

### 1.2 Sistem Koordinat Bumi

Untuk mengetahui lokasi suatu titik di permukaan bumi, maka diperlukan sistem koordinat yang memiliki dua sumbu koordinat yaitu Bujur (*Longitude*) dan Lintang (*Latitude*). Bujur bernilai dari  $0^{\circ}$  sampai  $180^{\circ}$  untuk Bujur Timur (BT) dan  $0-180^{\circ}$



untuk Bujur Barat (BT). Sedangkan titik  $0^{\circ}$  itu dimulai dari kota Greenwich, sebuah kota kecil di Inggris. Jika kutup utara dan kutup selatan bumi dihubungkan melalui kota Greenwich, garis inilah yang memiliki  $0^{\circ}$  BT dan juga bertindak sebagai  $0^{\circ}$  BB. Gambar 1.1 adalah memperlihatkan posisi  $0^{\circ}$  BT, yang mana garis ini melalui kota Greenwich, sebuah kota kecil di tepi kota London.

Sedangkan  $0^{\circ}$  lintang adalah dimulai dari garis katulistiwa, yaitu garis tengah yang membelah dua bagian bumi menjadi belahan utara dan selatan. Mengarah ke arah utara, berarti garis lintang utara (LU) membesar dari  $0^{\circ}$  sampai akhirnya  $90^{\circ}$  LU yang berada di kutup utara. Demikian juga dengan lintang selatan (LS) yang berakhir  $90^{\circ}$  LS di kutup selatan.

Pembagian waktu di muka bumi ini disepakati berdasarkan pembagian bujur. Total sudut bujur (Timur dan Barat) adalah  $360^{\circ}$ . Jika dibagi 24 jam, maka untuk 1 jam terdapat  $15^{\circ}$ . Jadi untuk kota-kota yang berada dalam setiap kelipatan  $15^{\circ}$  ini adalah memiliki waktu yang sama. Namun ada beberapa negara yang terkadang memajukan satu jam atau pun memundurkan satu jam untuk maksud tertentu. Dan juga ada beberapa negara yang masuk dalam beberapa grup dari kelipatan  $15^{\circ}$ , untuk alasan tertentu terkadang negara tersebut membagi dalam beberapa grup waktu tertentu. Seperti Indonesia masuk dalam sekitar  $95^{\circ}$  BT sampai  $141^{\circ}$  BT, yang artinya berada dalam grup  $90^{\circ}$ - $105^{\circ}$ ,  $105^{\circ}$ - $120^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ - $135^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ - $150^{\circ}$ . Namun untuk keperluan pembagiannya Indonesia mengelompokkan dalam 3 grup saja, yaitu Waktu Indonesia Barat (WIB), Waktu Indonesia Tengah (WITA) dan Waktu Indonesia Timur (WITA).

Jarak untuk tiap  $1^{\circ}$  bujur di khatulistiwa adalah maksimum, jarak ini akan semakin mengecil ke arah  $90^{\circ}$  LU dan  $90^{\circ}$  LS. Untuk jarak  $10^{\circ}$  bujur di khatulistiwa dapat di hitung dengan cara keliling lingkaran (keliling bumi) di bagi dengan  $360^{\circ}$ .



Untuk mengukur jarak antara dua lokasi yang bukan sepanjang garis katulistiwa diperlukan perhitungan matematika sebagai berikut:

Asumsikan Bumi adalah bulat sempurna, titik titik dimana saja bisa di jelaskan dengan tiga koordinat, jarak dari pusat bumi  $R$  dan juga sudut longitude  $\lambda$  dan latitude  $\phi$

Koordinat kartesian yang berhubungan dengan koordinat bola adalah:

$$X = R \sin \delta \cos \lambda$$

$$Y = R \sin \delta \sin \lambda$$

$$Z = R \cos \delta$$

dimana  $\delta = 90^\circ - \phi$ . Jika dua lokasi  $(X1, Y1, Z1)$  dan  $(X2, Y2, Z2)$  diketahui, maka jarak lurus  $s$  dari dua titik tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$s = \sqrt{(X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2 + (Z1 - Z2)^2}$$

Alternative lain, jarak antara dua titik bisa di jelaskan dengan panjang dari busur yang menghubungkan keduanya. Jarak  $s$  bisa diambil pendekatan oleh differensial  $ds$ , yang mana hanya bergantung pada  $R$ ,  $\delta = 90^\circ - \phi$  dan perbedaan  $dR$  didalam longitude  $d\lambda$  dan latitude  $d\phi = d\delta$ .  $ds$  akan memberikan panjang busur dari garis antara dua lokasi. Untuk jarak yang besar, panjang busur di hitung dengan meng integralkan  $ds$  sepanjang busur tersebut.

$$d = \sqrt{(d)^2 + (R \delta)^2 + (R \delta d\lambda)^2}$$

Dari dua persamaan yang terakhir, jarak apapun sebagai penghubung ataupun panjang busur antara dua titik bisa di hitung jika  $R$ , longitude  $\lambda$  dan latitude  $\phi$  diketahui.



### 1.3. Menentukan Jarak, ketinggian, navigasi dan luas area dengan menggunakan *Google Earth*

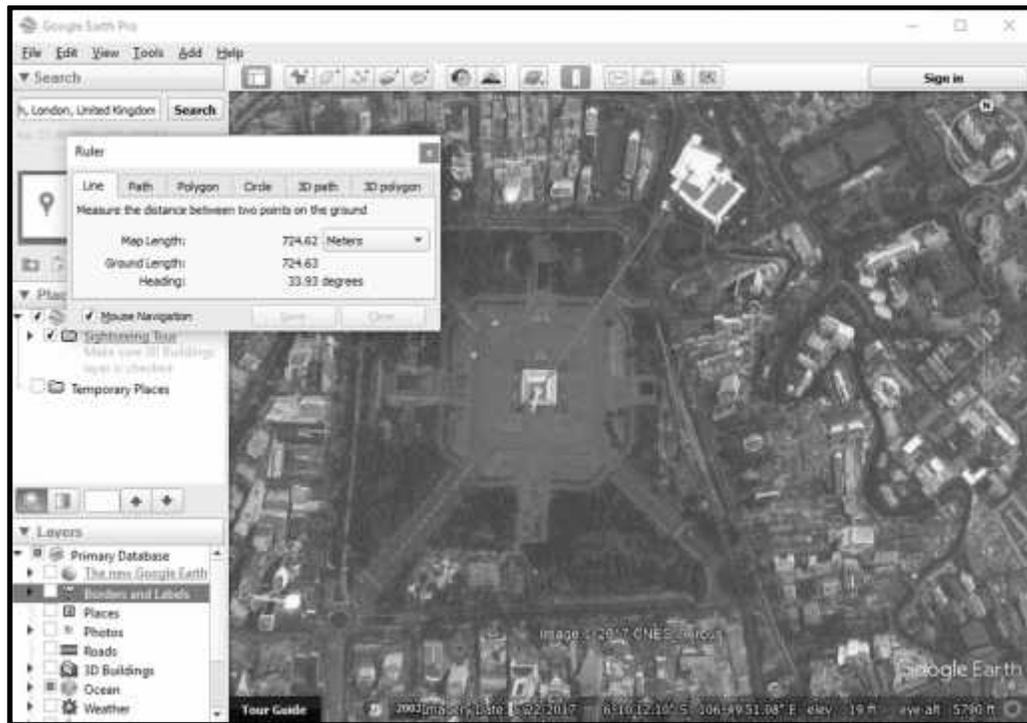
Pada era Internet sekarang ini, aplikasi Google Earth sering digunakan dibidang ilmu kebumihan dan bahkan ilmu sosial lainnya, karena aplikasi ini memperlihatkan bentuk permukaan bumi, termasuk bentuk pegunungan, bentuk lika-liku sungai, jalan dan juga bahkan kedalam air laut. Pada waktu 30 tahun yang lalu, untuk menganalisa suatu cekungan, mengharuskan dilakukannya survey langsung kelapangan, yang mana akan menghabiskan banyak dana, banyak waktu, energi dan juga dapat menyebabkan terancamnya keselamatan tim survey tersebut. Namun dengan menggunakan aplikasi google earth, semua itu dapat dilakukan dalam waktu sesingkat-singkatnya dan juga hampir tidak ada dana yang diperlukan. Dengan menggunakan aplikasi Google Earth, zona ketinggian dan juga zona dataran rendah, seberapa tinggi dan dalamnya serta berapa luas areanya dapat di lihat dengan jelas. Bukan hanya itu, Google Earth bisa digunakan untuk melihat zona divergen, zona konvergen dan zona transform dengan sangat jelas (akan dibahas di Bab 3).

Pada bagian bawah Google Erath, dapat ditemukan skala jarak, koordinat latitude, koordinat longitude, elevasi suatu tempat yang di klik lokasinya dan juga ketinggian posisi mata dalam melihat bumi tersebut. Sedangkan navigasi arah utara selatan dapat di lihat pada bagian kanan atas. Selain untuk keperluan geografis bumi, Google Earth juga menawarkan tool pengukuran jarak suatu tempat ketempat lainnya. Jarak ini bisa di ukur dalam satuan yang diinginkan dari cm sampai ke kilometer, bahkan bisa di ubah dalam satuan feet, asalkan diberikan lokasi dua tempat maka jarak dan arah dua tempat tersebut bisa ditentukan dengan baik. Selain itu juga memberikan fasilitas penentuan panjang lintasan yang berbentuk apa saja, juga mampu mengukur luas sebuah area tertentu. Gambar 1.2 adalah foto satelit sekitar bangunan Monas Jakarta yang di ambil dari Google Earth. Terlihat dari Gambar 1.2, jarak lurus dari Monas



## Gerakan Bumi dan Implikasi Terhadap Kehidupan

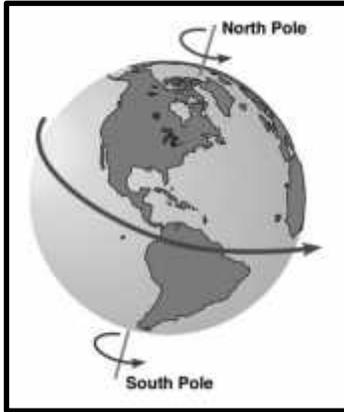
dengan Masjid Istiqlal adalah 724.62 meter dan memiliki arah 33.93°. Pengukuran arah ini adalah di hitung mulai dari Utara dan setiap pertambahan sudut searah jarum jam maka akan memberikan pertambahan besarnya arah tersebut. Dengan demikian pada Gambar 1.2 terlihat bahwa sudut dari Kutup Utara - Monas - Masjid Istiqlal sudutnya adalah 33.93°.



Gambar 1.2. Foto satelit yang diambil dari Google Earth.



### 1.4 Putaran Bumi



Gambar 1.3. Sumbu rotasi bumi yang tidak tegak lurus terhadap bidang revolusi bumi namun membentuk sudut  $23.3^{\circ}$ .

Perputaran bumi adalah dari barat ke timur (Gambar 1.3). Jika kita lihat bumi dari atas kutub utara maka bumi terlihat berputar seperti berlawanan arah jarum jam. Perputaran bumi ini memerlukan waktu 23 jam, 56 menit, 4 detik (Lebih kurang 24 jam) untuk melakukan satu putaran penuh. Perputaran bumi pada sumbunya ini mengakibatkan terjadinya siang dan malam. Karena matahari tetap sebagai sumbu revolusi planet planet yang ada di tata surya (termasuk bumi) sehingga pada waktu kapanpun sumber cahaya matahari akan tetap berasal dari tengah-tengah sumbu revolusi, dan karena bumi berotasi, maka akan ada bagian yang tersinari dan setengah bagian kulit bumi lainnya akan tidak mendapatkan cahaya. Bagian yang terkena sinar ini adalah siang hari, dan bagian yang tidak terkena sinar adalah mengalami malam hari.

Sumbu putar bumi tidak membentuk sudut tegak lurus terhadap bidang orbit bumi mengelilingi matahari, dengan kata lain ekuator bumi tidak sejajar dengan bidang orbit bumi. Equator bumi membentuk sudut  $23,5^{\circ}$  terhadap bidang edar bumi (Gambar 1.3). Dengan adanya sudut  $23,5^{\circ}$  maka intensitas cahaya matahari akan berbeda diterima dipermukaan bumi pada setiap waktu.

Kutub Utara, yang juga dikenal sebagai Kutub Utara Geografis atau Kutub Utara Terrestrial, adalah titik di Belahan Bumi Utara dimana sumbu rotasi Bumi berakhir pada titik di permukaan ini. Titik ini berbeda dari Kutub Magnetik Bumi Utara. Kutub Selatan adalah titik lain di mana sumbu rotasi bumi berakhir di permukaannya, yaitu di Antartika.

Bumi berputar satu kali dalam waktu sekitar 24 jam. Rotasi bumi sedikit melambat seiring waktu. Dengan demikian, satu hari sekarang lebih panjang dari satu hari dimasa lalu. Hal ini disebabkan oleh efek pasang surut Bulan pada rotasi bumi. Jam atom menunjukkan bahwa zaman modern lebih panjang sekitar 1,7 milidetik daripada seabad yang lalu. Analisis catatan



astronomi menunjukkan kecenderungan melambat 2,3 milidetik per abad sejak abad ke-8 SM.

### 1.5 Sejarah Teori Sistem Putaran Bumi

Di antara orang-orang Yunani kuno yang bersekolah di Pythagoras percaya pada konsep rotasi bumi daripada rotasi langit. Mungkin yang pertama adalah Philolaus (470-385 SM), meski sistemnya rumit, menyatakan bumi berputar setiap hari pada pusat api. Kemudian Hicetas, Heraclides dan Ecphantus pada abad ke-4 SM beranggapan bahwa bumi diputar namun tidak menunjukkan bahwa bumi berputar mengelilingi matahari. Pada abad ketiga SM, Aristarchus dari Samos menyarankan sentral adalah matahari.

Namun, Aristoteles di abad keempat mengkritik gagasan Philolaus berdasarkan teori dan bukan observasi. Dia menetapkan gagasan tentang bidang bintang tetap yang diputar di sekitar bumi. Ini diterima oleh sebagian besar dari mereka yang datang setelahnya, khususnya Claudius Ptolemy (abad ke-2 Masehi), yang mengira bumi akan hancur oleh badai jika diputar.

Pada 499 M, astronom India Aryabhata menulis bahwa bumi bulat berputar pada porosnya setiap hari, dan bahwa pergerakan bintang yang nampak itu adalah gerakan relatif yang disebabkan oleh rotasi bumi. Dia memberikan analogi berikut ini: "Sama seperti seorang pria dengan sebuah perahu yang menuju ke satu arah melihat benda-benda stasioner di tepi sungai bergerak ke arah yang berlawanan, dengan cara yang sama, seorang pria di Lanka, mengatakan bintang-bintang yang bersusunan rapi tampaknya seperti bergerak ke barat.

Pada abad ke-10, beberapa astronom Muslim mengatakan bahwa Bumi berputar pada porosnya. Menurut al-Biruni, Abu Sa'id al-Sijzi (sekitar tahun 1020) menemukan astrolabe yang



disebut al-zūraqī berdasarkan gagasan yang diyakini oleh beberapa orang sezamannya "bahwa gerak yang kita lihat adalah karena gerakan bumi dan bukan gerakan langit". Prevalensi pandangan ini selanjutnya dikonfirmasi oleh sebuah referensi dari abad ke-13 yang menyatakan: "Menurut ahli geometri, bumi dalam gerak lingkaran konstan, dan apa yang tampaknya menjadi gerakan langit sebenarnya adalah karena gerak bumi dan bukan bintang-bintang. Risalah ini ditulis untuk membahas kemungkinan, baik sebagai sanggahan atau mengungkapkan keraguan tentang argumen Ptolemy untuk menentangnya. Di observatorium Maragha dan Samarkand, rotasi bumi dibahas oleh Tusi dan Qushji. Argumen dan bukti yang mereka gunakan mirip dengan yang digunakan oleh Copernicus.

Di Eropa pada abad pertengahan, Thomas Aquinas menerima pandangan Aristoteles dan menolak pendapat John Buridan dan Nicole Oresme pada abad ke-14. Nicolaus Copernicus pada tahun 1543 mengadopsi sistem heliosentris, dan pemahaman kontemporer tentang rotasi bumi mulai dibangun. Copernicus menunjukkan bahwa jika gerakan bumi penuh kekerasan, maka pergerakan bintang-bintang harus jauh lebih banyak. Dia mengakui kontribusi orang Pythagoras dan menunjuk contoh gerak relatif. Bagi Copernicus inilah langkah pertama dalam membangun pola planet yang lebih sederhana yang menjadikan matahari sebagai titik tengah tengah.

Tycho Brahe menghasilkan pengamatan akurat menggunakan karya Copernicus sebagai basis sebuah sistem dengan asumsi sebuah bumi diam. Kepler menghasilkan hukum hukumnya adalah berdasarkan pengamatan Tycho ini. Pada tahun 1600, William Gilbert sangat mendukung rotasi bumi dalam risalahnya tentang magnetisme bumi dan mampu mempengaruhi banyak orang sezamannya, seperti Gilbert yang tidak secara terbuka mendukung atau menolak gerak bumi mengelilingi matahari sering disebut "semi-Copernicans". Satu abad setelah Copernicus, Riccioli memperdebatkan model tanah yang



berputar karena kurangnya defleksi timur yang bisa diamati pada benda yang jatuh. Lendutan gerak semacam itu kemudian disebut efek Coriolis. Namun, Kepler, Galileo dan Newton sangat memberikan kontribusi dalam membentuk teori rotasi bumi.

### 1.6 Kecepatan Putaran Bumi

Kecepatan putaran rotasi bumi adalah  $(7.2921150 \pm 0.0000001) \times 10^{-5}$  radian per second. Jika dikalikan dengan  $(180^\circ/\pi \text{ radian}) \times (86.400 \text{ detik})$  akan menghasilkan  $360.9856^\circ$ , ini menunjukkan bahwa Bumi berputar lebih dari  $360^\circ$  relatif terhadap bintang yang tetap dalam satu hari matahari. Gerakan bumi di sepanjang orbitnya yang hampir melingkar begitu saat diputar mengelilingi porosnya mengharuskan Bumi berputar sedikit lebih dari satu kali putaran relatif terhadap matahari, meskipun hanya berputar sekali ( $360^\circ$ ) relatif terhadap Matahari. Jika dikalikan nilai rad dengan radius khatulistiwa bumi yaitu 6.378.137 m (berdasarkan hitungan WGS84 ellipsoid) sehingga menghasilkan kecepatan di khatulistiwa sebesar 465,1 m per detik, atau 1,674,4 km per jam. Beberapa literatur menyatakan bahwa kecepatan putar di khatulistiwa bumi adalah 1.669,8 km / jam. Ini diperoleh dengan cara membagi lingkaran khatulistiwa bumi dengan 24 jam. Namun, penggunaannya hanya untuk satu lingkaran tanpa mempertimbangkan unit waktu yang sesuai harus menjadi jam sidereal. Hal ini diperkuat dengan bertambahnya jumlah hari sidereal dalam satu hari matahari rata-rata, 1,002 737 909 350 795, yang menghasilkan kecepatan khatulistiwa rata-rata yang diberikan di atas 1.674,4 km / jam.

Kecepatan tangensial rotasi bumi pada suatu titik di Bumi dapat diperoleh dengan mengalikan kecepatan di khatulistiwa dengan kosinus garis lintang. Sebagai contoh, Kennedy Space Center terletak pada garis lintang  $28,59^\circ \text{ N}$ , yang menghasilkan kecepatan:  $\cos 28,59^\circ \times 1,674,4 \text{ km / jam}$  (1,040,4 mph; 465,1 m / s) = 1,470,23 km / jam



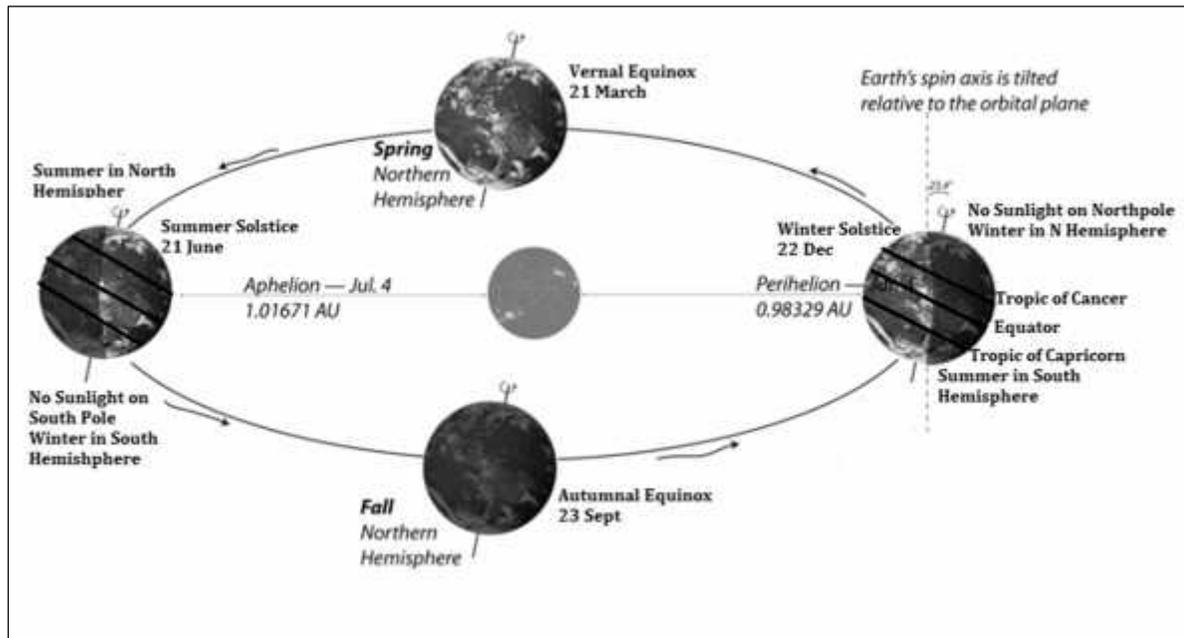
### 1.7 Perbedaan Lama Siang, Malam dan Musim

Seperti terlihat pada Gambar 1.3, equator bumi tidak sejajar dengan bidang edar Bumi mengelilingi Matahari. Dengan demikian akan ada perbedaan lamanya waktu siang dan malam pada waktu waktu tertentu.

Sekitar setengah dari luas kulit Bumi diterangi setiap saat oleh Matahari (Gambar 1.4). Daerah yang terkena penerangan secara langsung hampir setengah dari planet ini. Tetapi karena efek atmosfer dan lainnya, mampu memperluas jangkauan penerangan secara tidak langsung. Area planet bumi yang mengalami penerangan secara langsung atau tidak langsung hanya sedikit lebih dari separuh permukaan bumi.

Belahan bumi yang mengalami siang hari pada setiap perubahan waktu terus berlanjut saat planet berputar pada porosnya. Sumbu rotasi bumi tidak tegak lurus terhadap bidang orbit dalam mengelilingi Matahari (yang sejajar dengan arah sinar matahari), sehingga panjang periode siang hari bervariasi di satu titik dan titik lainnya. Selain itu, karena sumbu rotasi relatif tetap dibandingkan dengan bintang (matahari), sumbu rotasi juga bergerak dengan Matahari sebagai pusat orbit. Hal ini menciptakan variasi musiman panjang periode siang hari di sebagian besar titik di permukaan planet.





Gambar 1.4. Ilustrasi sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi setiap saat.

Periode siang hari ditinjau dari sudut pandang pengamat pada permukaan bumi kira-kira didefinisikan sebagai periode antara matahari terbit, ketika rotasi bumi ke arah timur pertama menyebabkan cakram Matahari muncul di atas cakrawala, sampai terbenam, saat rotasi bumi terus berlanjut menyebabkan sinar matahari menghilang di bawah cakrawala sebelah barat. Karena Matahari adalah cakram bercahaya seperti yang terlihat dari Bumi, bukan sumber cahaya, matahari terbit dan terbenam tidak seketika dan definisi yang tepat dapat bervariasi sesuai konteksnya. Selain itu, atmosfer bumi semakin membungkuk dan membaurkan cahaya dari Matahari dan memperpanjang waktu terbit dan terbenam matahari. Untuk periode tertentu setelah matahari terbenam dan sebelum matahari terbit, sinar tidak langsung dari Matahari menerangi langit di atas Bumi. Periode ini sering disebut sebagai senja. Kelompok ilmuwan tertentu, tidak menganggap siang hari berakhir sampai cakram Matahari benar-benar jauh di bawah cakrawala bumi (karena penerangan secara tidak langsung ini).



Mengingat bahwa sumbu rotasi bumi cenderung sekitar 23,5 derajat dari tegak lurus (dibandingkan dengan bidang orbitnya), panjang periode siang hari bervariasi dengan musim di permukaan planet, tergantung pada lintang pengamat. Daerah yang mengalami musim panas dimiringkan ke arah matahari. Kemiringan ke arah matahari menyebabkan lebih dari separuh hari berada di siang hari dan suhu yang lebih hangat karena meningkatnya intensitas sinar matahari. Sementara lamanya siang hari dapat memiliki beberapa efek pada suhu yang meningkat di musim panas, sebagian besar kenaikan suhu disebabkan oleh cahaya matahari. Tingginya (mendekati 90 derajat) sudut matahari inilah yang menyebabkan daerah tropis menjadi hangat, sementara sudut rendah (hampir di atas cakrawala) di kutub inilah yang menyebabkannya menjadi dingin. Lamanya jam siang hari memiliki sedikit efek pada suhu bumi ini dapat terlihat pada kutub yang masih dingin di musim panas walau meskipun lamanya siang hari adalah 24 jam, sedangkan khatulistiwa hangat dengan hanya 12 jam siang hari.

Meskipun panjang periode siang hari selalu berkisar dua belas jam di Khatulistiwa pada semua musim, namun di semua garis lintang lainnya panjangnya bervariasi sesuai musimnya. Selama musim dingin, periode siang hari lebih pendek dari dua belas jam; Selama musim panas, lebih dari 12 jam. Saat musim dingin di utara Khatulistiwa, musim panas di selatan Khatulistiwa, dan sebaliknya.

**Di Khatulistiwa**, periode siang hari selalu hampir dua belas jam panjangnya, tidak peduli apapun musimnya. Matahari selalu naik hampir tegak lurus ke cakrawala. Dari Equinox bulan Maret sampai Equinox bulan September, ia naik sedikit ke timur laut, dan terbenam sedikit ke barat laut. Dari Equinox bulan September sampai Equinox Maret, ia naik sedikit ke tenggara dan terbenam sedikit ke barat daya. Jalan Matahari seluruhnya terletak di bagian utara langit untuk periode dari Equinox bulan Maret sampai Equinox September dan seluruhnya berada di bagian selatan langit dari Equinox bulan September sampai



Equinox Maret, dengan Matahari yang melintas langsung di atas kepala Pada siang hari di ekuinoks.

Fakta bahwa Matahari selalu begitu dekat dengan vertikal pada siang hari di Khatulistiwa (tidak pernah lebih dari 23,5 derajat ke utara atau selatan) menjelaskan mengapa daerah khatulistiwa adalah wilayah terpanas di planet ini secara keseluruhan. Selain itu, matahari terbit dan terbenam selalu terjadi dengan sangat cepat di Khatulistiwa, karena jalan Matahari melintasi langit begitu hampir vertikal. Di ekuinoks, Matahari hanya membutuhkan waktu dua menit untuk melintasi cakrawala saat matahari terbit dan terbenam.

**Di daerah tropis.** Daerah tropis adalah daerah yang menempati permukaan Bumi antara  $23,5^\circ$  LU dan  $23,5^\circ$  LS. Di dalam band ini, Matahari akan melewati hampir secara langsung pada setidaknya satu hari per tahun. Garis  $23,5^\circ$  Lintang Utara disebut Tropic of Cancer, karena ketika diberi nama, Matahari melintas di atas kepala di lokasi ini pada saat tahun ketika berada di dalam tanda zodiak Cancer. Garis ekuivalen garis lintang selatan disebut Tropic of Capricorn, untuk alasan yang serupa. Untuk informasi lebih lanjut, silahkan cari informasi mengenai presesi ekuinoks.

Pada garis lintang yang lebih dekat ke Khatulistiwa dan di Khatulistiwa itu sendiri, matahari akan berada di atas dua kali per tahun. Di luar daerah tropis, Matahari tidak pernah lewat langsung di atas kepala.

**Dekat kutub.** Di dekat kutub, yang bertepatan dengan poros rotasi Bumi saat melewati permukaan, variasi musiman di siang hari sangat ekstrem. Sebenarnya, dalam jarak  $23,5^\circ$  dari kutub, setidaknya akan ada beberapa hari setiap tahun di mana matahari tidak pernah ada di bawah cakrawala. Juga akan ada hari dimana matahari tidak pernah terbit di atas cakrawala. Jumlah ini akan lebih sedikit, tapi mendekati jumlah hari di musim panas dimana matahari tidak terbenam (misalnya matahari terbit biasanya beberapa hari sebelum equinox musim



semi dan meluas beberapa hari melewati ekuinoks musim gugur). Fenomena siang hari lebih lama dari malam ini tidak unik bagi daerah kutub. Sebenarnya, pada waktu tertentu lebih dari separuh bumi ada di siang hari. 24 jam cahaya musim panas dikenal sebagai matahari tengah malam yang terkenal di beberapa negara utara. Di sebelah utara, ditandai dengan Lingkaran Arktik adalah pada batas  $23,5^\circ$  dari kutub utara. Ke selatan, ditandai dengan Lingkaran Antartika. Batas-batas ini sesuai dengan lintang  $66,5^\circ$  utara atau selatan. Hari-hari yang benar-benar gelap dimana matahari sepertinya tidak pernah naik hanya terlihat di luar  $72^\circ$  utara atau lintang selatan.

Di dekat kutub, matahari tidak pernah naik sangat jauh di atas cakrawala, bahkan di musim panas, ini merupakan salah satu alasan mengapa daerah-daerah di dunia ini secara konsisten dingin di semua musim (yang lain termasuk efek albedo, refleksi peningkatan relatif dari Radiasi matahari salju dan es). Bahkan di titik balik matahari musim panas, saat matahari mencapai titik tertinggi di atas cakrawala pada siang hari, itu pun masih hanya  $23,5^\circ$  di atas cakrawala di kutub (Gambar 1.5). Selain itu, saat seseorang mendekati kutub, jalan Matahari melalui langit setiap hari menyimpang dari vertikal sangat jelas terlihat. Saat musim panas mendekat, Matahari terbit dan terbenam menjadi lebih kearah utara di utara dan lebih ke selatan di selatan. Di kutub, jalan Matahari memang membuat seperti sebuah lingkaran, yang kira-kira sama jauh di atas cakrawala untuk keseluruhan durasi periode siang hari pada hari tertentu. Lingkaran itu berangsur-angsur terbenam di bawah cakrawala saat musim dingin mendekat, dan sedikit demi sedikit naik di atasnya saat musim panas mendekat. Di kutub, matahari terbit dan terbenam bisa berlangsung selama beberapa hari.

**Di garis lintang tengah**, jauh dari Khatulistiwa dan kutub, variasi panjang siang hari adalah moderat. Di lintang menengah yang lebih tinggi seperti Montreal, Paris dan Ushuaia, perbedaan panjang hari dari musim panas ke musim dingin bisa sangat terlihat: langit mungkin masih menyala pada pukul 10

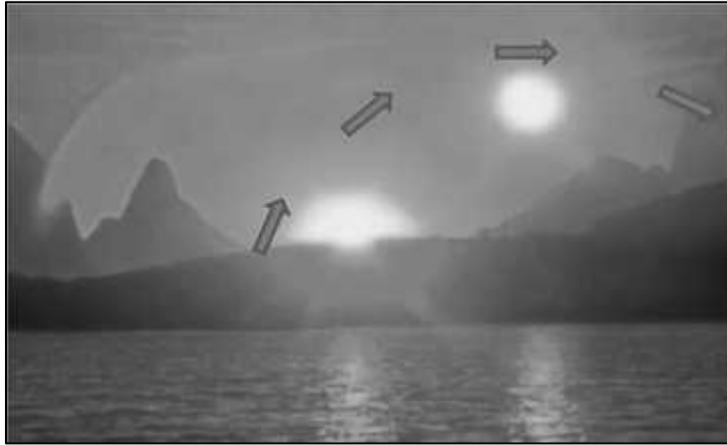


malam di musim panas, tapi mungkin gelap pada pukul 5 sore di musim dingin. Di garis lintang tengah bawah dimana Southern California, Mesir dan Afrika Selatan berada, perbedaan musiman lebih kecil, namun masih menghasilkan perbedaan sekitar 4 jam di siang hari antara musim dingin dan titik balik matahari musim panas. Perbedaannya menjadi kurang terasa semakin dekat sampai ke khatulistiwa. Juga di garis lintang tengah, variasi iklim musiman yang dihasilkan oleh perubahan pada siang hari adalah yang paling ditandai, dengan periode dingin dan panas yang sangat berbeda, dan perubahan musiman sekunder lainnya seperti salju dan es di musim dingin yang hilang di musim panas dan sebagainya. Pada garis lintang tinggi, dingin hampir sepanjang waktu, dengan salju dan es yang konstan, sehingga musimnya kurang jelas; Dan di daerah tropis, musim panas hampir selalu, tanpa salju atau es sama sekali, jadi musimnya kurang jelas.

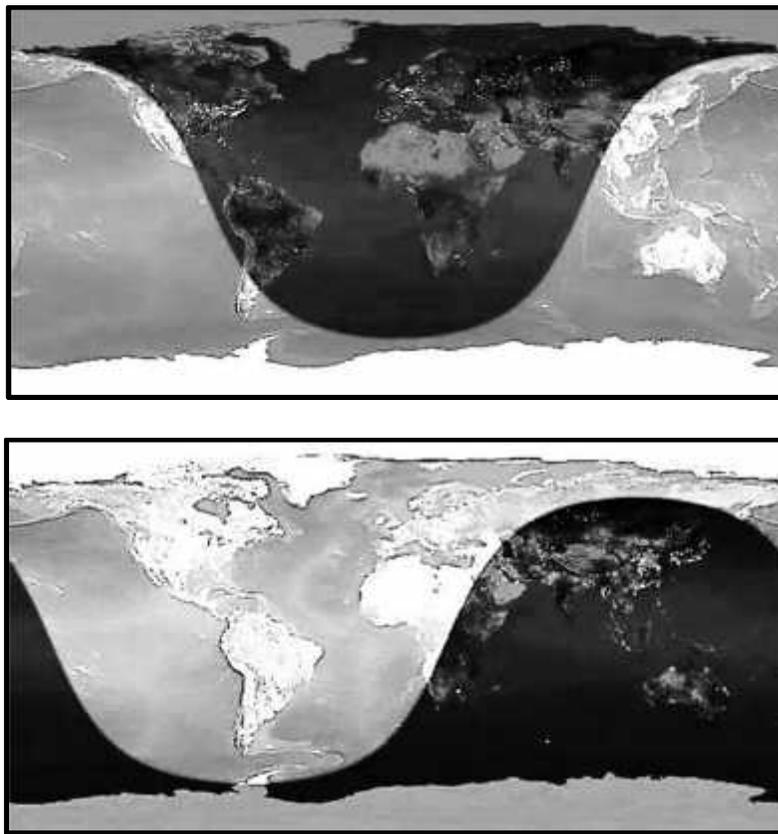


## Gerakan Bumi dan Implikasi Terhadap Kehidupan

---



Gambar 1.5. Pergerakan matahari terlihat dari bagian Utara Bumi.



Gambar 1.6. Area dipermukaan bumi yang mendapat sinar matahari di bulan Desember (atas) dan bulan Juni (bawah)

---



### 1.8. Pengukuran Jari Jari Bumi

Orang pertama yang mengukur jari-jari Bumi yaitu ahli matematika Yunani Eratosthenes (276-195 SM). Eratosthenes menggunakan jarak antara kota-kota Alexandria di Mesir di sisi barat Delta Sungai Nil dan Syene dekat Aswan di selatan Mesir. Dia tahu sudut ketinggian Matahari di masing-masing lokasi itu persis satu hari terpisah. Dari pengukuran ini, dia memperkirakan lingkaran bumi, yang dengannya dia menentukan radius Bumi menjadi sekitar 6317 km. Banyak cara sederhana lainnya yang sudah ada untuk perhitungan radius bumi. Semua metode ini menggunakan fakta bahwa Bumi mengambil satu hari sidereal untuk menyelesaikan rotasi penuh, sementara sinar Matahari digunakan sebagai referensi. Gagasan itu terlihat cukup berat untuk mengumpulkan data dalam waktu singkat.

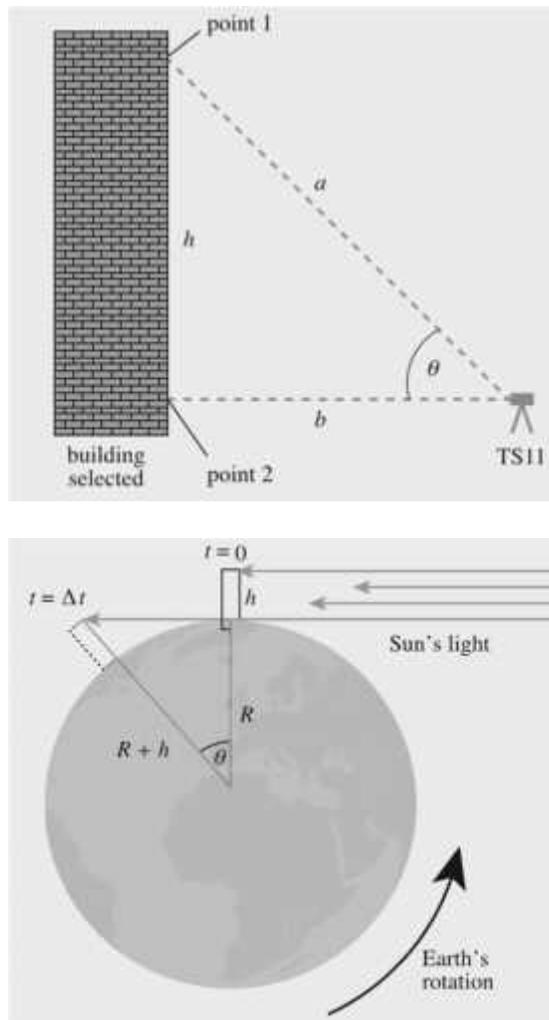
Salah satu cara mengukur jari-jari bumi dikemukakan oleh Corroll (2013, pada Jurnal Physics Education). Mengukur radius bumi pada dasarnya bisa dilakukan dengan mencatat waktu matahari terbenam pada tingkat yang berbeda di sebuah gedung tinggi. Sementara radius dan metode perhitungannya telah dikenal selama beberapa waktu dalam matematika, metode baru ini berfungsi sebagai pendekatan yang mudah dan akurat yang dapat diulang oleh siapa saja yang memiliki peralatan yang dibutuhkan. Perhitungannya bergantung pada geometri sederhana dan hasilnya mendekati nilai yang diterima untuk jari-jari Bumi (Gambar 1.7).

Sebuah bangunan tinggi harus dipilih dengan pandangan yang jelas antara cakrawala tempat Matahari terbenam dan sisi bangunan menghadap ke arah itu. Dua titik yang mudah dikenali dipilih di gedung tersebut dan ukur perbedaan ketinggian antara dua titik (Gambar 1.7).

Kemudian gunakan Kamera pada tripod yang mantap dan diatur ke mode video, dengan fitur auto-focus dan auto-exposure lock ditetapkan untuk mencegah pemaparan atau perubahan fokus yang tidak diinginkan, dan digunakan untuk merekam kemajuan



vertikal bayangan cakrawala. Urutan gambar video digital dianalisis dengan menggunakan program yang digunakan untuk menemukan perbedaan pencahayaan greyscale antara dua titik yang dipilih pada bangunan. Dengan menggunakan perbedaan ini, adalah mungkin untuk melihat kapan mulainya bayangan terbit mencapai titik yang dipilih dari bangunan tersebut, dan kemudian ketika mencapai titik yang dipilih di bagian atas bangunan. Akurasi ditingkatkan dengan menganalisa frame video saat bayangan melewati dua titik ini.



Gambar 1.7. Geometri pengukuran

## Gerakan Bumi dan Implikasi Terhadap Kehidupan

---

Dengan mengukur perbedaan waktu antara kedua titik yang sudah ditentukan, maka dapat di hitung jari jari bumi sebagai berikut:

$$\frac{\theta}{2\pi} = \frac{\Delta t}{1 \text{ ha } s}$$

$$c_1 = \frac{R}{R+h}$$

$$R = \frac{h c_1}{(1 - c_1)}$$

Dengan demikian jari jari bumi dapat diperkirakan dari persamaan terakhir.

### Pertanyaan BAB 1

1. Berapakah jarak lurus terdekat antara kota A ( $12^{\circ}$  BT –  $0^{\circ}$  LU) dengan kota B ( $20^{\circ}$  BB –  $0^{\circ}$  LU)?
2. Berapakah jarak lurus terjauh antara kota C ( $12^{\circ}$  BT –  $0^{\circ}$  LU) dengan kota D ( $20^{\circ}$  BB –  $0^{\circ}$  LU)?
3. Berapakah jarak lurus terdekat antara kota E ( $12^{\circ}$  BT –  $0^{\circ}$  LU) dengan kota F ( $35^{\circ}$  BB –  $65^{\circ}$  LU)?
4. Mengapa waktu (jam) tenggelam matahari tidak selalu sama?
5. Mengapa kota yang sama posisi Bujurnya dan posisi lintangnya berbeda mengalami terbit fajar yang tidak sama untuk bulan bulan tertentu?
6. Mengapa bisa terjadi empat musim pada daerah lintang besar (lebih  $45^{\circ}$ ) belahan bumi utara dan selatan
7. Jelaskan mengapa ada perbedaan musim pada waktu yang sama di belahan bumi utara dan selatan
8. Jika kita sedang berada di kota Sidney bulan Desember, lebih lama siang atau malam?
9. Di bulan apakah matahari zenith di kota Mekah ? Jelas kan mengapa demikian.
10. Pernahkah matahari zenith diatas kota seoul? Jelaskan alasan dan sketh!



**Daftar Pustaka dan Tambahan Bacaan**

1. Dennis D. McCarthy; Kenneth P. Seidelmann (18 September 2009). Time: From Earth Rotation to Atomic Physics John Wiley & Sons. p. 232. ISBN 978-3-527-62795-0
2. Stephenson, F. Richard (2003). "Historical eclipses and Earth's rotation" *Astronomy & Geophysics*. 44 (2). pp. 2.22–2.27. doi:10.1046/j.1468-4004.2003.44222.x
3. Alessandro Bausani (1973). "Cosmology and Religion in Islam". *Scientia/Rivista di Scienza*. 108 (67): 762.
4. Young, M. J. L., ed. (2 November 2006). Religion, Learning and Science in the 'Abbasid Period Cambridge University Press. p. 413. ISBN 9780521028875



## Bacaan Tambahan

Sumber: Physics Education (March 2013)

## GEOMETRY

## Measuring distances in Google Earth

Google Earth offers a ruler tool where either straight lines or polygons can be used to measure distances between start and end points. It is, however, not clear how these measurements are made because there is no documentation available and, reportedly, the ruler schemes have also changed in the past.

Because I needed the distance between two points for a science project, I started to think about how to judge the accuracy of the Google Earth distance measurement tool, i.e. whether I could trust these numbers. Analysing this is quite simple and you only need basic knowledge of spherical geometry and coordinates.

Assuming for simplicity that the Earth is a perfect sphere, any point on the Earth can be described by three co-ordinates—the distance from the centre of the Earth  $R$ , as well as longitude  $\lambda$  and latitude  $\varphi$  angles. Cartesian co-ordinates relate to these spherical co-ordinates according to

$$\begin{aligned}x &= R \sin \vartheta \cos \lambda \\y &= R \sin \vartheta \sin \lambda \\z &= R \cos \vartheta,\end{aligned}\quad (1)$$

where  $\vartheta = 90^\circ - \varphi$ . If two points  $(x_1, y_1, z_1)$  and  $(x_2, y_2, z_2)$  are given, the distance  $s$  along the line of sight is given by

$$s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}, \quad (2)$$

which for large distances would be described as chord with respect to the sphere.

Alternatively, the distance between the two points can be described by the length of the arc connecting the two points. Whenever it is small compared with  $R$ ,  $s$  may be approximated by the differential  $ds$ , which only depends on  $R$ ,  $\vartheta = 90^\circ - \varphi$  and differences in radii  $dR$ , in longitude  $d\lambda$  and in latitude  $d\varphi = \delta\vartheta$ .  $ds$  describes the arc length of the line along a great circle between the two points. For greater distances, the arc length is calculated by integrating  $ds$  along the arc:

$$ds = \sqrt{(dR)^2 + (Rd\vartheta)^2 + (R \sin \vartheta d\lambda)^2}. \quad (3)$$

From equations (2) and (3), any distance as chord or arc length between two points can be measured once radius  $R$ , longitude  $\lambda$  and latitude  $\varphi$  are known.

For any given point marked on a map, Google Earth gives the elevation in metres as well as latitude and longitude in arc seconds with an accuracy of  $0.01''$ . This accuracy relates to typical displacements on Earth of less than 1 m. This can be seen by assuming, e.g.,  $dR = 0$ ,  $d\varphi = 0$ , dealing with sea level at medium latitudes ( $R = 6370$  km) and a change of longitude of  $0.01'' = 0.01''/3600'' = 4.848 \cdot 10^{-8}$  rad. With that we find  $ds \approx 30$  cm. Irrespective of the question of whether this accuracy makes sense (it does not, considering that only military or geodesy systems would provide such a resolution, if any do),





**Figure 1.** Snapshot from (German) Google Earth (© 2011 Google) of Grand Prismatic Spring in Yellowstone National Park with surroundings. The window with the ruler gives two measures of the line, one on-map (top value 269.29 m) and one on-ground (bottom value 269.87 m). For the lower point, Google Earth gives elevation: 2234 m, latitude:  $44^{\circ} 31' 24.68''$  and longitude:  $110^{\circ} 50' 23.49''$ . For the upper one we have elevation: 2218 m, latitude:  $44^{\circ} 31' 32.00''$  and longitude:  $110^{\circ} 50' 16.84''$ .

we accept it and try to find out how distances are measured.

Google Earth has a ruler and applying the ruler gives two measurements, one on-map and one on-ground. For situations where height does not change much, both measures are quite similar, although the two distances between points with substantially different heights differ considerably. Let us consider both situations.

Example one is from Yellowstone National Park (figure 1). The ruler is applied to the line from an overview point looking down at Grand Prismatic Spring in the middle geyser basin, as indicated in the figure.

Both Google Earth distances (269.29 m and 269.87 m) are quite similar (let us forget here about the absolutely unreasonable accuracy of 1 cm). Calculating the distance along the line of sight between the two points using the co-ordinates and equation (3) we find  $ds = 269.34$  m if the height difference  $dR$  is assumed zero and  $ds = 269.82$  m when including the proper value of  $dR = 16$  m. These values

are quite close to the indicated measures given by Google Earth. You should never assume that co-ordinates are given at better than 1 m spatial resolution. Furthermore, trying to position a spot on the start and end points of the line also leads to potential deviations of around 0.3". We therefore register the coordinates while fixing the end points of the line. The agreement seems very satisfactory and we conclude that for situations where height difference can be neglected, the Google Earth ruler seems to work quite well, with more or less no difference between the two output distances.

This changes, however, when considering lines between two points with large height differences. Because it does not work to use building tops, an example is shown from Yosemite National Park in the US near half dome (figure 2).

Now, the distance as measured on-map (416.49 m) is much smaller than that on-ground (917.34 m). Calculating the distance along the line of sight between the two points using the coordinates and equation (3) we find  $ds = 416.3$  m if the height

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.  
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.