

PENENTUAN KLASIFIKASI HARI CERAH BERDASARKAN DATA INSOLASI HARIAN

Saipul Hamdi

e-mail: saipulh@yahoo.com

Ringkasan

Telah dibangun empat kriteria grafik insolasi harian untuk menentukan kondisi hari cerah pada siang hari dalam proses membangun model radiasi matahari di Bandung menggunakan data insolasi global matahari. Keempat kriteria tersebut adalah tidak memiliki pencilan ekstrim, insolasi maksimum terjadi pada saat matahari mencapai kulminasi, insolasi harian bersifat *smooth*, dan insolasi maksimum bernilai $> 75\%$ maksimum rata-rata bulanan. Keempat kriteria tersebut disusun dengan memikirkan bahwa sinar matahari akan mengalami proses-proses pemantulan, pembiasan, dan penyerapan ketika memasuki atmosfer bumi sehingga terjadi pelemahan energi sesampainya di permukaan bumi. Salah satu unsur atmosfer yang secara kuat menyebabkan pelemahan insolasi adalah uap air atau awan.

PENDAHULUAN

Penentuan klasifikasi hari cerah dibutuhkan dalam membangun model radiasi matahari skala lokal, karena berkaitan dengan energi radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi. Energi radiasi matahari dibutuhkan untuk menggerakkan proses-proses fotokimia, maupun proses-proses fisika. Pembentukan awan adalah salah satu proses fisika yang melibatkan energi matahari secara langsung, demikian juga dengan penyebaran polutan-polutan di udara yang berhubungan langsung dengan pergerakan angin. Contoh proses fotokimia adalah penguraian dan pembentukan ozon di stratosfer yang pernah menjadi isu penting setelah ditemukannya lubang ozon di kutub utara.

Di dalam klimatologi, penutupan awan (*cloud covering*) dinyatakan dalam satuan per delapan ($1/8$). Langit dinyatakan bersih tak berawan (*clear sky condition*) apabila luas penutupan awan kurang dari $1/8$ (atau kurang dari 10%). Di dalam pengukuran radiasi matahari, penutupan awan $1/8$ akan memberikan dampak yang berbeda karena sangat bergantung pada posisi awan tersebut berada. Awan yang berada di antara matahari dan pengamat (=sensor) menyebabkan menurunnya insolasi secara drastis. Dan sebaliknya, meskipun penutupan awan bernilai $1/8$ atau lebih namun tidak berada di antara matahari dan pengamat maka

tidak akan menyebabkan penurunan insolasi. Insolasi merupakan istilah yang diadopsi dari bahasa Inggris (*Insolation = incoming solar radiation*) yang artinya adalah energi sinar matahari yang mencapai permukaan bumi setelah berinteraksi dengan komponen-komponen penyusun atmosfer. Bagian dari sinar matahari yang tidak berinteraksi dengan atmosfer akan tiba di permukaan bumi dan disebut sebagai insolasi.

Radiasi matahari tingkat permukaan atau insolasi di daerah tropis memiliki tingkat fluktuasi yang tinggi yang disebabkan oleh cepatnya perubahan penutupan awan¹. Perubahan-perubahan kondisi cuaca lokal, terutama perubahan penutupan awan, memicu terjadinya perubahan insolasi pada skala yang luas. Perubahan penutupan awan dapat terjadi dalam waktu yang sangat singkat dalam hitungan detik dan bergantung pada keadaan geografi setempat, termasuk arah dan kecepatan angin yang memindahkan awan dari satu tempat ke tempat yang lain. Perubahan penutupan awan ini dapat menyebabkan insolasi menjadi sangat fluktuatif. Studi mengenai sistem energi matahari biasanya dilakukan dengan menggunakan data harian atau data jam-an^{2,3}. Secara umum, beberapa hal yang mempengaruhi insolasi adalah aktivitas matahari, jarak bumi-matahari, komposisi atmosfer, sudut zenith matahari, ketinggian topografi, dan posisi lintang.

Matahari memancarkan energinya dalam bentuk foton-foton elektromagnetik yang berenergi tinggi. Foton-foton ini ketika menembus atmosfer bumi akan mengalami interaksi dengan senyawa dan partikel penyusun atmosfer bumi sehingga sebagian (atau bahkan seluruh) energinya akan diserap oleh atmosfer bumi. Sebagian lagi foton-foton akan dipantulkan kembali keluar atmosfer bumi. Salah satu komponen penyusun atmosfer bumi yang secara kuat menyerap foton radiasi matahari adalah uap air atau H₂O, dan menyerap radiasi matahari pada spektrum panjang gelombang yang sangat lebar. Kumpulan tetes air di udara yang terjadi karena adanya pengembunan/pemadatan uap air dan telah melampaui keadaan jenuh disebut sebagai awan. Ketika sinar matahari terhalang oleh awan maka insolasi akan berkurang secara drastis. Pada tulisan ini akan dibahas cara menentukan hari cerah tak berawan menggunakan data insolasi harian yang diukur di Bandung, tepatnya di Gedung Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN. Karakterisasi ini hanya berlaku untuk menganalisa insolasi yang diukur menggunakan instrumen pengamatan langsung *in-situ*, bukan melalui satelit.

PENENTUAN HARI CERAH

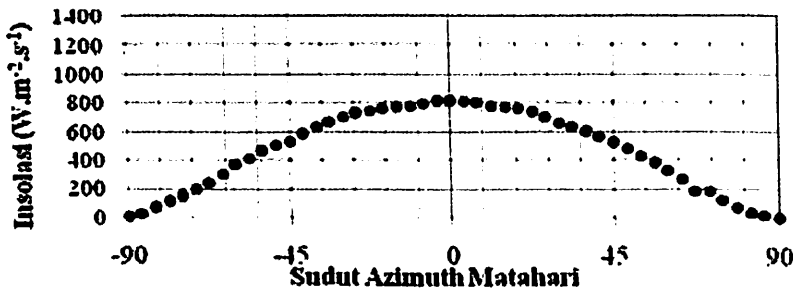
Penentuan kriteria hari cerah (*clear day*) digunakan data insolasi matahari (*direct* dan *diffuse*) yang diukur di gedung LAPAN Bandung menggunakan sensor pyranometer MS802 buatan *Eko Instruments Corp.* Pyranometer MS802 mengukur insolasi dengan cara mengubah gelombang elektromagnet sinar matahari menjadi berkas-berkas elektron, kemudian memperkuatnya menjadi arus listrik. Pengukuran dilakukan secara terus-menerus setiap harinya namun pencatatan dimulai pukul 05:00 dengan selang waktu pencatatan selama 10 menit, dan berakhir pada pukul 19:00 waktu setempat. Insolasi yang terukur setiap hari tersebut dibuatkan grafiknya berdasarkan waktu pengamatan, dan di dalam tulisan ini dinyatakan sebagai grafik insolasi harian. Grafik insolasi harian dikaji satu persatu mulai tahun 2010 hingga 2014, dan dikelompokkan menjadi 5 kelompok berdasarkan kesamaan pola yang dimilikinya.

Insolasi Harian

Berdasarkan pengolahan data insolasi harian tahun 2010 s.d. 2014 telah diperoleh lima kelompok grafik insolasi harian sebagai berikut.

1. Grafik insolasi harian berbentuk setengah parabola

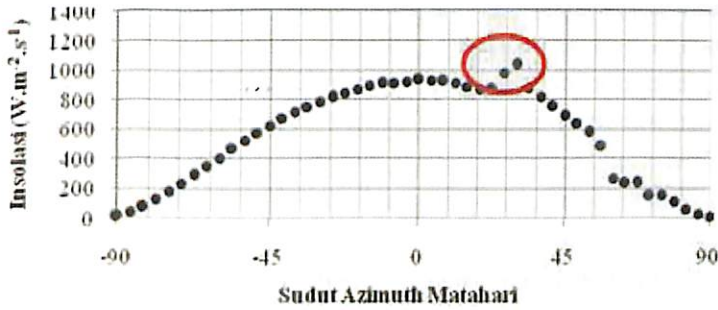
Gambar 1 adalah grafik insolasi harian di Kota Bandung yang diamati pada tanggal 26 Agustus 2013. Pada Gambar 1 hingga Gambar 5, sumbu vertikal adalah insolasi ($W.m^{-2}.s^{-1}$) sedangkan sumbu horizontal adalah sudut azimuth matahari yang dapat dihubungkan dengan waktu pengamatan. Sudut azimuth adalah yang patokannya diukur dari Utara= 0° kemudian berputar searah jarum jam ke Timur= 90° terus ke Selatan= 180° lalu ke Barat= 270° dan kembali ke utara= $360^{\circ}/0^{\circ}$. Pada grafik ini arah selatan tetap diambil positif. Bentuk grafik ini merupakan fungsi cosinus. Pada rentang pengolahan data 2010-2014 tidak banyak didapatkan grafik insolasi yang memiliki pola seperti pada Gambar 1. Pola grafik seperti ini umumnya diperoleh pada saat udara cerah tak berawan sejak matahari terbit hingga terbenam. Intensitas radiasi matahari pada saat matahari mencapai kulminasi ($\theta=0^{\circ}$) dapat digunakan untuk menganalisis besarnya transmitansi oleh atmosfer bumi. Intensitas cahaya matahari ketika memasuki atmosfer bumi disebut sebagai 'konstanta matahari' yang nilainya ditetapkan sebesar $1368 W.m^{-2}.s^{-1}$ dan memiliki fluktuasi (variasi maksimum-minimum) pada waktu-waktu tertentu sebesar 0,1⁶. Perhitungan secara kasar perbandingan antara insolasi maksimum dan konstanta matahari kira-kira sebesar 50%.



Gambar 1. Grafik insolasi harian di Bandung tanggal 26 Agustus 2013

2. Grafik memiliki nilai pencilon ekstrim setelah titik kulminasi matahari

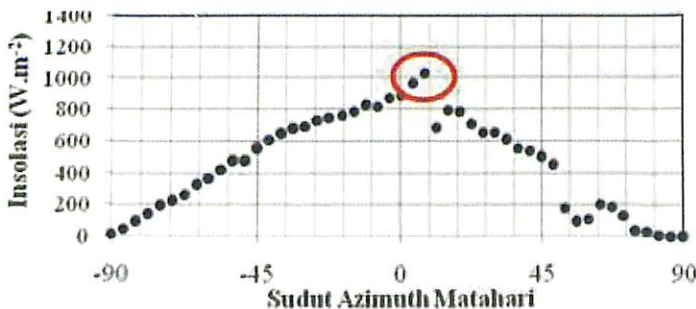
Gambar 2 merupakan grafik insolasi harian yang diukur di Bandung pada tanggal 23 September 2014. Insolasi tertinggi akan diperoleh pada saat matahari mencapai kulminasi yaitu ketika sudut azimuth matahari bernilai nol. Pada grafik tipe kedua ini, diperoleh beberapa pencilon ekstrim setelah matahari mencapai kulminasi, baik yang bernilai lebih tinggi dari insolasi maksimum harian, maupun yang nilainya sangat kurang. Insolasi yang bernilai lebih tinggi dari insolasi maksimum dapat diduga berasal dari aktivitas matahari yang melebihi batas normalnya, ataupun adanya sumber-sumber gangguan lain yang bersifat menambah jumlah energi yang diterima oleh sensor radiasi matahari. Pada saat matahari aktif maka iradiasi matahari juga menunjukkan kenaikan, demikian juga sebaliknya saat matahari tenang maka iradiasinya mengalami penurunan⁷. Aktivitas matahari akan berulang secara periodik menurut periode tertentu misalnya 11, 22, 47 tahunan, dan seterusnya⁸. Perubahan pada aktivitas matahari akan berpengaruh pada semua komponen yang ada di bumi, meskipun pengaruh perubahan itu akan terlihat dalam jangka waktu yang relatif lama⁹. Perubahan aktivitas matahari dalam skala waktu pendek yang disebabkan oleh adanya aktivitas matahari secara transien (*flare*) ditandai dengan peningkatan radiasi elektromagnet, partikel berenergi tinggi, dan lontaran massa korona (*corona mass ejection / CME*) yang signifikan (<http://matsa.bdg.lapan.go.id/kategori/kategori-informasi/aktivitas-matahari>). Tulisan ini tidak mencari penyebab kenaikan ataupun penurunan insolasi tersebut, melainkan mengklasifikasikan insolasi harian agar diperoleh kriteria langit bersih harian.



Gambar 2. Grafik insolasi harian di Kota Bandung tanggal 23 September 2014

3. Insolasi maksimum tidak terjadi pada saat matahari mencapai kulminasi

Gambar 3 adalah grafik insolasi harian di kota Bandung yang diukur pada tanggal 4 Mei 2011. Pada grafik tipe ini sering terukur insolasi maksimum terjadi beberapa derajat setelah kulminasi matahari (lingkaran berwarna merah), dan biasanya grafik insolasi menjadi tidak beraturan setelahnya. Hal ini diduga disebabkan karena terjadinya perubahan penutupan awan dari waktu ke waktu, khususnya sebelum kulminasi matahari, dan cenderung berkurang penutupannya setelah kulminasi matahari sehingga insolasi tetap meningkat beberapa saat. Perubahan penutupan awan dapat diartikan sebagai perpindahan awan dari satu tempat ke tempat yang lain ataupun pertumbuhan awan di suatu lokasi. Dalam hal ini, perubahan penutupan awan terjadi di antara matahari dan pengamat sehingga menyebabkan insolasi menjadi berfluktuasi terhadap waktu.

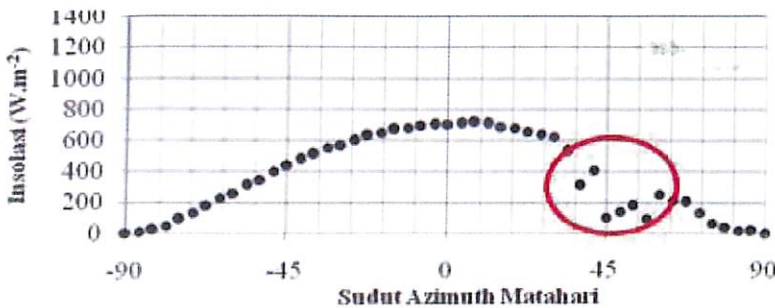


Gambar 3. Grafik insolasi harian di Kota Bandung tanggal 4 Mei 2011

4. Grafik insolasi tidak bersifat smooth

Gambar 4 adalah grafik insolasi harian yang diukur di Kota Bandung pada tanggal 22 Juli 2010. Sejak matahari terbit di ufuk, insolasi

naik secara perlahan-lahan mengikuti fungsi cosinus hingga mencapai kulminasinya, dan kemudian melemah kembali secara perlahan-lahan. Sesaat kemudian grafik insolasi menjadi tidak beraturan yang disebabkan adanya sesuatu yang menyerap insolasi secara acak. Melemahnya nilai insolasi secara acak diduga kuat berasal dari pertumbuhan atau pun pergerakan awan yang menghalangi radiasi matahari memasuki sensor secara bebas. Pelemahan insolasi hingga nilai terendah dapat diartikan bahwa transmitansi lapisan atmosfer menurun dengan cepat yang disebabkan karena *optical depth* atmosfer meningkat secara cepat. Untuk menghitung pelemahan insolasi secara akurat, diperlukan distribusi vertikal kerapatan *liquid water* dan suhu di dalam awan¹⁰. *Liquid water content* (LWC) total digunakan untuk menghitung pelemahan yang disebabkan oleh awan¹¹. Awan merupakan sekumpulan tetes air (droplet) yang berukuran sangat kecil yaitu 5-15 μm , meskipun pada beberapa kasus ukuran tetesnya bisa mencapai 100 μm . Konsentrasi *droplet* berkisar antara 10^2 hingga 10^3 *droplet/cm*³. Beberapa jenis awan dapat menahan semua radiasi matahari dalam spektrum radiasi UV, cahaya tampak, maupun radiasi inframerah. Penutupan awan secara parsial yang dinyatakan dalam per-delapan-an tidak serta merta menghalangi pengamat untuk mendapatkan radiasi matahari karena radiasi matahari dibelokkan oleh komponen penyusun atmosfer dalam bentuk radiasi *diffuse*.



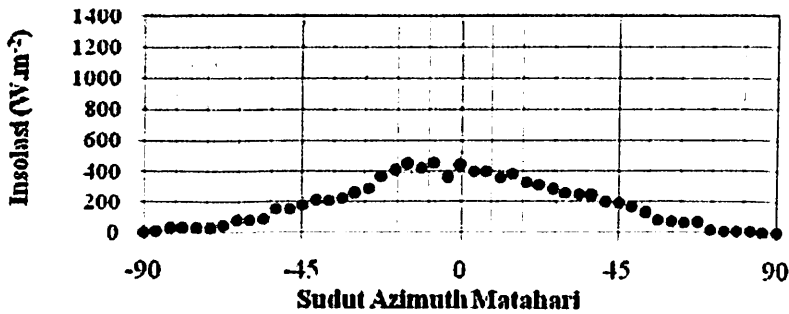
Gambar 4. Grafik insolasi harian di Kota Bandung tanggal 22 Juli 2010

Pada sebuah penelitian yang dilakukan oleh Seckmeyer *etal.*¹² diketahui bahwa transmitansi lapisan awan adalah bergantung pada panjang gelombangnya, yaitu berkisar antara 45% pada spektrum UVA, dan 60% pada spektrum UVB dan diasumsikan bahwa awan tidak sepenuhnya berwarna keruh (abu-abu). Penelitian ini dilakukan pada dua kondisi awan yang berbeda, yaitu *cloudy day* dan *nearby clear day*. Pada

penelitian lain juga disebutkan bahwa transmittansi awan di bawah 400 nm akan meningkat dan diikuti dengan penurunan kembali di bawah 320 nm^{13,14}. Hasil penelitian melaporkan bahwa nilai-nilai transmittansi awan akan mendekati konstan pada panjang gelombang 320-400 nm¹³, sedangkan transmittansi awan sebesar 0,57 pada 320 (400) nm untuk kedalaman optis awan sebesar 10¹⁴. Namun perlu diperhatikan bahwa perbedaan nilai-nilai tersebut diperoleh pada kondisi lingkungan yang berbeda, yaitu sudut zenith matahari, permukaan albedo, ketinggian, kolom ozon, dan lain-lain. Berdasarkan perhitungan model yang dilakukan oleh Kylling¹⁵ disimpulkan bahwa ketergantungan panjang gelombang dikaitkan dengan adanya awan terlihat di dalam radiasi UV-permukaan, tidak disebabkan oleh proses-proses yang terjadi pada foton ketika foton menembus awan. Juga, efek yang disebabkan oleh foton yang dipantulkan ke atas oleh awan, kemudian dihamburkan ke bawah lagi oleh atmosfer di atas awan. Di sini, ketergantungan panjang gelombang yang teramati tersebut merupakan sebuah hasil dari adanya awan, dan juga hamburan Rayleigh di atas awan.

5. Insolasi maksimum < 75% maksimum rata-rata bulanan

Gambar 5 adalah grafik insolasi harian yang diukur di Kota Bandung pada tanggal 10 Juli 2013. Secara umum grafik ini terlihat *smooth*, namun insolasi maksimum pada saat kulminasi bernilai terlalu rendah (kurang dari 75%) dibandingkan dengan insolasi maksimum rata-rata bulanan. Berdasarkan hukum Beer-Lambert ($E_{rr} = E_{inc} \cdot e^{-k \rho \Delta s}$) dapat diduga bahwa telah terjadi penambahan nilai ketebalan lapisan atmosfer (Δs) secara konsisten dan terus-menerus selama masa pengukuran tersebut. Meskipun radiasi matahari terhalangi oleh awan, namun sensor matahari masih menerima sedikit radiasi yang berasal dari *diffuse*. Bagian *diffuse* radiasi matahari bergantung pada beberapa variabel diantaranya adalah turbiditas atmosfer, albedo permukaan, dan *atmospheric precipitable water*^{16,17}. Awan juga akan meningkatkan hamburan balik foton radiasi matahari di atas awan, dan selanjutnya juga meningkatkan albedo bumi¹⁵.



Gambar 5. Grafik insolasi harian di Kota Bandung tanggal 10 Juli 2013

Penambahan kandungan uap air di atmosfer secara langsung akan menaikkan nilai ketebalan lapisan atmosfer, kedalaman optis untuk uap air di atmosfer, yang menentukan pelemahan energi radiasi matahari melalui proses penghamburan dan/atau penyerapan ketika menembus uap air. Secara rata-rata, intensitas maksimum radiasi global matahari pada bulan Juli 2013 adalah $800 \text{ W.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, dan intensitas tertinggi pada Gambar 5 adalah sekitar $450 \text{ W.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ atau hanya sekitar 56%. Ini berarti, pada hari pengamatan tersebut terjadi peningkatan kedalaman optik yang disebabkan bertambahnya kandungan uap air di atmosfer. Dugaan ini diambil dengan berasumsi bahwa tidak terjadi perubahan kandungan komposisi lainnya secara signifikan.

PENUTUP

Untuk menentukan klasifikasi hari cerah pada siang hari maka haruslah memenuhi empat kriteria sebagai berikut: (i) tidak memiliki pencilan ekstrim setelah kulminasi matahari, (ii) insolasi maksimum terjadi pada saat matahari mencapai kulminasi, (iii) insolasi harian bersifat *smooth*, dan (iv) insolasi maksimum bernilai $> 75\%$ maksimum rata-rata bulanan. Kriteria hari cerah ini dapat digunakan dalam penyusunan model radiasi matahari ketika tidak tersedia data satelit mengenai penutupan awan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada LAPAN, khususnya Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, yang telah menyediakan data insolasi di Kota Bandung sebagai bahan utama penyusunan tulisan ini.

Daftar Pustaka

¹Soubdhan, T., R. Emilion, R. Calif, 2008: *Classification of daily solar radiation distributions using a mixture of Dirichlet Distributions*. Article

- soumis á Solar Energy. <hal-00289567>
- ²Notton, G., Cristofari, C., Poggi, P., Muselli, M., 2002. *Calculation of solar irradiance profiles from hourly data to simulate energy systems behaviour*. Renewable Energy 27. 123-142.
 - ³Suehreke, H., McCormick, P.G., 1988. *The frequency distribution of instantaneous insolation values*. Solar Energy 40, 413-422.
 - ⁴Pierre Bouguer, *Esseai d'optique sur la gradation de la lumière*. (Paris, France: Claude Jombert, 1729) pp. 16-22.
 - ⁵Beer, 1852. *Bestimmung der Absorbtion des rothen Lichts in farbigen Flüssigkeiten*.
 - ⁶Chapman, G.A., 1987. *Variations of Solar Irradiance due to Magnetic Activity*. Ann. Rev. Astron. Astrophys., **25**, 633.
 - ⁷Yatini, C.Y., 2004. *Variasi konstanta matahari dan kaitannya dengan aktivitas matahari*. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia, No.0420 (A4).
 - ⁸Perry, C.C., 1994. *Comparison of a solar model with paleoclimatic data, Institute for Tertiary-Quaternary Studies*. TER-QUA Symposium series, Vol.2, him, 25-37.
 - ⁹Suaydhi, M.A. Ratag, 1996. *Hubungan aktivitas matahari dengan konsentrasi gas karbondioksida*. Majalah LAPAN, No 78.
 - ¹⁰Freeman, R.L., 2007. *Radio system design for telecommunications*. Third edition, John Wiley & Sons, 978-0-47175-713-9 New York.
 - ¹¹Maitra, A., K. Chakravarty, 2005. *Ku-band rain attenuation observations on an earth-spcae path in the Indian region*. Proc. URSI General Assembly, New Delhi, Paper F01.6(01059), pp.23-29.
 - ¹²Seckmeyer, G., R. Erb, and A. Albold, 1996. *Transmittance of a cloud is wavelength-dependent in the UV-range*. Geophys. Res. Lett., 23, 2753-2755.
 - ¹³Frederick, J.E., and D. Lubin, 1988. *The budget of biologically active ultraviolet radiation in the Earth-atmosphere system*. J. Geophys. Res., 93, 3825-3832.
 - ¹⁴Wang, P., and J. Leoble, 1996. *Influence of clouds on UV irradiance at ground level and backscattered exittance*. Adv. Atmos. Sci., 14, 217-228.
 - ¹⁵Kylling, A., A. Albold, G. Seckmeyer, 1997. *Transmittance of a cloud is wavelength-dependent in the UV-range: Physical interpretation*. Geophysical Research Letters, Vol. 24, No. 4, pp.397-400.
 - ¹⁶Garrison, J.D., 1985. *A study of the division of the global irradiance into direct and diffuse irradiances at thirty-three US sites*. Solar Energy, 35(4), pp.341-351.

- ¹⁷Camps. J., Soler M.R., 1992. *Estimation of diffuse-irradiance on a horizontal surface for cloudless days: a new approach*. Solar Energy, 49(1), pp.53-63.