

Korelasi antara Energi Potensial Konvektif (CAPE) dan Bilangan Bintik Matahari (Sunspot Number)

Dadang Subarna
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl.Dr. Junjunan 133 Bandung 40173

Abstrak

Telah dilakukan analisa data energi potensial konvektif (CAPE) dari beberapa stasiun cuaca di Indonesia yang merupakan hasil perhitungan dari peluncuran radiosonde dan data bilangan bintik matahari (SUNSPOT NUMBER). Dari beberapa stasiun yang dianalisa dan dibandingkan dengan bilangan bintik matahari, maka korelasi antara CAPE setiap stasiun dan bilangan bintik matahari (SUNSPOT NUMBER) ternyata berbeda-beda. Ada daerah yang mempunyai kenaikan dengan korelasi positif ($r \sim 0.8$) namun ada pula daerah dengan korelasi negatif ($r \sim -0.9$) terhadap bilangan bintik matahari (SUNSPOT NUMBER). Ketidaksamaan ini kemungkinan adalah respon lokal yang berbeda-beda terhadap radiasi. Hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengapa setiap daerah mempunyai respon yang berbeda-beda terhadap radiasi matahari.

Kata kunci: Korelasi, CAPE, bilangan bintik matahari

Abstract

Convective Available Potential Energy (CAPE) calculated from radiosonde data launched at several weather stations in Indonesia have been analysed and compared to the sunspot number variation during the same period. The correlations between CAPE at each station and the sunspot number were found to be different. Several stations showed an increase with positive correlation ($r \sim 0.8$) while others showed negative correlation ($r \sim -0.9$) with respect to the sunspot number. The differences were suspected to be due to different local response with respect to solar radiation. Further researches were suggested to investigate the reason for the observed different response to solar radiation.

Key words: Correlation, CAPE, Sun_Spot Number

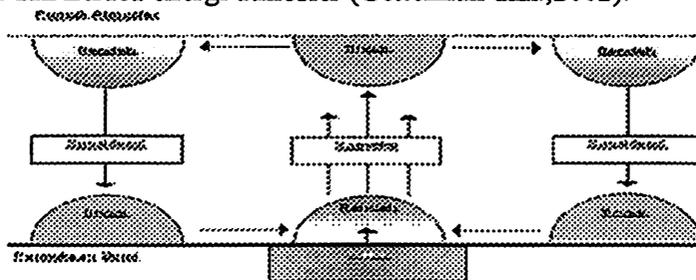
1. PENDAHULUAN

Sebagai energi masukan utama untuk Bumi datang dari Matahari dalam bentuk radiasi. Semua masukan lainnya hampir dapat diabaikan. Matahari merupakan sumber energi bagi Bumi dan atmosfer yang meyelubunginya. Atmosfer bumi bersifat semitransparan, dimana menyerap sekitar 20% energi radiasi Matahari. Sekitar 30% dipantulkan dan dihamburkan ke ruang angkasa. Sisanya diteruskan dan diserap oleh permukaan bumi. Kemudian energi ditransfer kembali dari permukaan ke atmosfer. Atmosfer permukaan (surface layer) memiliki cakupan 10% dari keseluruhan lapisan batas atmosfer (atmospheric boundary layer) dan memiliki cakupan ketinggian kurang lebih dari permukaan tanah sampai ketinggian 100 m (Budyko.,1982). Pada lapisan inilah terjadi pertukaran energi yang sering disebut transfer energi yang sangat intensif. Transfer ini meliputi transfer panas, momentum dan massa. Transfer inilah yang mempengaruhi dinamika atmosfer permukaan (Budyko.,1982).

Sampai saat ini hubungan Bumi-Matahari dan mekanisme fisis yang terjadi padanya masih merupakan topik kajian yang menarik, khususnya bagaimana radiasi Matahari mempengaruhi atmosfer Bumi dengan kehadiran awan. Pada makalah ini dilakukan perhitungan pada salah satu parameter atmosfer yaitu CAPE dan dicari korelasinya dengan

bilangan bintik Matahari (sunspot number) dengan metoda statistik standar yaitu korelasi nilai terhadap nilai (value to value correlation).

Energi potensial konvektif (CAPE) atau kependekan dari Convective Available Potential Energy didefinisikan sebagai ukuran dari jumlah energi yang tersedia untuk terjadinya proses konveksi di atmosfer (gambar 1.1) atau bisa juga diungkapkan sebagai kerja yang diterima oleh parcel udara yang terangkat dari permukaan Bumi dengan asumsi bahwa parcel tersebut tanpa mengalami pencampuran, baik suhu dan kelembabannya dengan udara lingkungan. CAPE terhubung dengan kecepatan vertikal potensial maksimum yang dialami oleh parcel tersebut. Nilai yang tinggi dari CAPE menunjukkan cuaca dalam keadaan tidak stabil, nilai yang teramati untuk hujan badai mungkin melampaui 1000 J/Kg dan dalam kasus yang ekstrim bisa mencapai 5000 J/Kg. CAPE merupakan suatu ukuran dari stabilitas bersyarat dari keadaan lapisan troposfer terhadap pergerakan vertikal berhingga, sebagaimana muncul selama konveksi basah (Emanuel., 1994). CAPE dapat dihitung dari pengamatan radiosonde. Perubahan jangka panjang dalam CAPE kemungkinan terhubung dengan perubahan dalam aktivitas konveksi dan neraca energi atmosfer (Gettelman dkk.,2002).



Gambar 1.1. Proses terjadinya konveksi di atmosfer digambarkan secara skematik.

Dalam makalah ini kami menggunakan data radiosonde hasil pengamatan dari beberapa stasiun cuaca di Indonesia untuk menghitung CAPE. Perhitungan CAPE secara lengkap diuraikan pada bagian 2. Hasil dari perhitungan dan analisa data CAPE diuraikan pada bagian 3. Kemudian dilanjutkan dengan kesimpulan pada bagian 4.

2. METODA DAN DATA

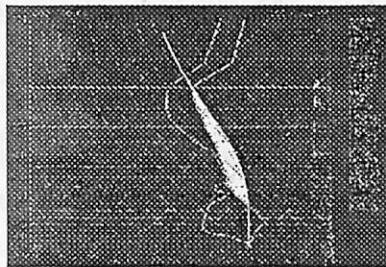
CAPE merupakan integral vertikal dari suatu gaya apung parcel udara yang terangkat antara LFC (Level of Free Convection) dan LNB (Level of Neutral Buoyancy). Apabila diungkapkan dalam kordinat tekanan maka CAPE dapat dicari dengan rumus

$$CAPE = \int_{LFC}^{LNB} R_d (T_{parcel} - T_{lingkungan}) d \ln p \quad (2.1)$$

Dimana T_{parcel} adalah suhu parcel
 $T_{lingkungan}$ adalah suhu lingkungan sounding
 R_d adalah konstanta gas
 p adalah tekanan

Secara fisis, CAPE merupakan indikasi energi potensial yang tersedia untuk proses konveksi basah. Perhitungan CAPE menggunakan sejumlah asumsi, baik asumsi mikrofisis maupun termodinamika (Williams dan Renno, 1993; Emanuel, 1994). Pada perhitungan dengan menggunakan rumus (2.1), diasumsikan bawah parcel bergerak ke atas secara 'irreversible' sepanjang lintasan adiabatik semu standar, yaitu parcel bergerak ke atas tanpa mengalami pencampuran dengan udara lingkungan dan uap yang berkondensasi secara spontan terpresipitasi. Kemudian diasumsikan juga tidak ada pembekuan dan diabaikannya efek uap air pada gaya apung, sehingga disebut koreksi suhu virtual (Doswell dan Rasmussen, 1994). CAPE hanya merupakan integral bagian atau daerah positif dari gaya apung parcel (diatas

LFC) seperti terlihat pada gambar 2.1, sementara integral bagian atau daerah negatif dibawah LFC disebut CIN (Convective Inhibition). Jika terdapat lebih dari satu LFC maka dilakukan prosedur untuk integrasi ganda pada seluruh luasan positif dan negatif untuk CAPE dan CIN masing-masing. CIN didefinisikan sebagai jumlah energi yang dibutuhkan untuk menaikan sebuah parsel udara dari permukaan ke LFC. Dalam diagram termodinamika skew-T, CIN adalah daerah yang dibatasi oleh sounding suhu di kanan dan adiabatik kering di sebelah kiri (kering jika dibawah LCL, basah jika di atas LCL). Karena makin besar CIN menunjukkan makin banyak energi dibutuhkan untuk menaikan sebuah parsel udara sehingga daerah CIN disebut daerah energi negatif. Dengan kata lain, makin banyak CIN dalam sounding, makin tinggi stabilitas atmosfer dan makin berkurang kemungkinan konveksi kuat. Bagian di atas CIN adalah LFC yaitu posisi pertama dalam atmosfer dimana parsel dapat bergerak sendiri tanpa kontribusi energi dari luar. LFC adalah titik bagi antara CIN dan CAPE dalam diagram skew-T. LFC merupakan titik dimana sounding lingkungan pertama kali memotong sounding parsel, di atas permukaan. Beberapa sounding mungkingna tidak memiliki LFC. Hal ini dapat terjadi dalam kasus kondisi kering tingkat rendah atau suhu tinggi atas, terutama dengan sounding inversi suhu. Ketinggian dimana LFC terjadi dapat digunakan sebagai panduan umum dalam memprediksi kemungkinan konveksi.



Gambar 2.3. Diagram Skew-T yang menggambarkan integral luas dari CAPE mulai LFC sampai LNB dari data radiosonde.

Sedangkan data radiosonde untuk menghitung CAPE diperoleh dari 7 stasiun cuaca yaitu stasiun cuaca Medan, Padang, Jakarta, Surabaya, Kucing, Makasar, Menado seperti terlihat pada gambar (2.4)



Gambar 2.4. Peta lokasi peluncuran data radiosonde untuk menghitung CAPE.

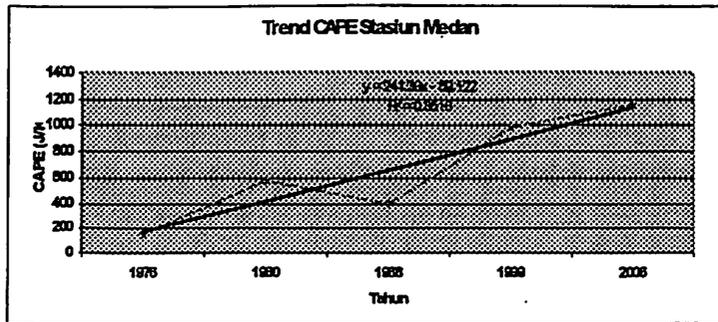
Satelah dilakukan perhitungan CAPE dari masing-masing stasiun yang mempunyai data lengkap yaitu data diperoleh dari ketinggian sekitar 990 mb sampai 10 mb, kemudian data dirata-ratakan setiap tahun secara statistik. Nilai rata-rata CAPE tahunan ini kemudian dicari koefisien korelasinya terhadap bilangan bintang matahari rata-rata tahunan yang diperoleh dari internet (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/) dengan memakai rumus

$$C(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_i x_i y_{i+\tau} \quad (2.2)$$

Dimana x_i adalah melambangkan CAPE, y_i adalah melambangkan bilangan bintang matahari, N adalah banyaknya data, τ adalah waktu tunda (untuk korelasi nilai ke nilai dipakai $\tau=0$)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan Excell, CAPE hasil perhitungan dari 7 stasiun cuaca yang diamati, kemudian diplot untuk mengetahui kecenderungan (trend) linearnya.

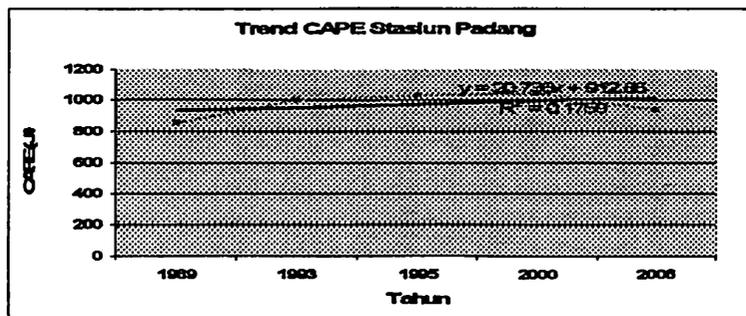


Gambar 3.5. Plot CAPE dan kecenderungan (trend) linearnya untuk stasiun cuaca Medan.

Dari gambar (3.4) terlihat bahwa kecenderungan (trend) linear yang positif dari CAPE untuk stasiun Medan. Hal ini secara fisis berarti bahwa lapisan troposfer mempunyai kecenderungan yang semakin tidak stabil dan memungkinkan terjadinya hujan badai yang semakin intensif. Sedangkan hasil korelasinya dengan bilangan bintang matahari didapat koefisien korelasi sebesar 0,53.

Tabel 3.1 Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintang Matahari untuk St. Medan

Stasiun Medan			Korelasi
Tahun	CAPE (J/kg)	Sun Spot Number	
1976	153.3192	12.6	0.533768
1980	581.708	154.6	
1988	399.1906	100.2	
1999	979.7469	93.3	

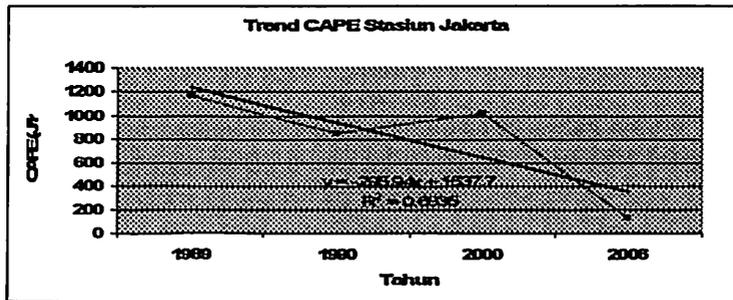


Gambar 3.6. Plot CAPE dan kecenderungan (trend) linearnya untuk stasiun cuaca St. Padang.

Dari gambar (3.6) terlihat bahwa kecenderungan (trend) linear yang positif dari CAPE untuk stasiun Padang. Namun kecenderungan kenaikan ini relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan stasiun Medan. Hasil korelasinya dengan bilangan bintang matahari didapat koefisien korelasi sebesar -0.85. Koefisien korelasi yang negatif besar ini, dikarenakan letak daerah Padang yang berada di sekitar Bukit Barisan dimana aktivitas konveksi lebih dipengaruhi oleh efek orografi.

Tabel 3.2. Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintang Matahari untuk St. Padang

Stasiun Padang			
Tahun	CAPE (J/kg)	Sun Spot Number	Korelasi
1991	877.28	145.7	-0.85193
1995	1402.505	17.5	
2000	1242.238	119.6	

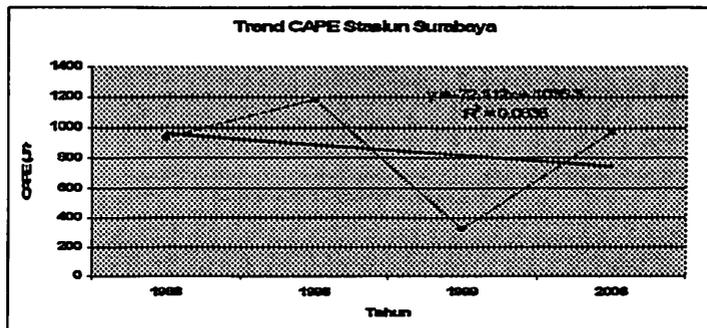


Gambar 3.7. Plot CAPE dan kecenderungan (trend) linearnya untuk stasiun cuaca Jakarta.

Dari gambar (3.7) terlihat bahwa kecenderungan (trend) linear yang negatif dari CAPE untuk stasiun Jakarta. Hasil korelasinya dengan bilangan bintang matahari didapat koefisien korelasi sebesar 0.35 yang merupakan terkecil dari semua stasiun yang diamati. Pengaruh aerosol terhadap aktivitas konveksi sangat dominan di daerah urban seperti Jakarta, sehingga korelasinya dengan bintang matahari sangat kecil.

Tabel 3.3. Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintang Matahari untuk St. Jakarta

Stasiun Jakarta			
Tahun	CAPE (J/kg)	Sun Spot Number	Korelasi
1989	1174.432	157.6	0.359856
1990	858.7255	142.6	
2000	1026.023	119.6	



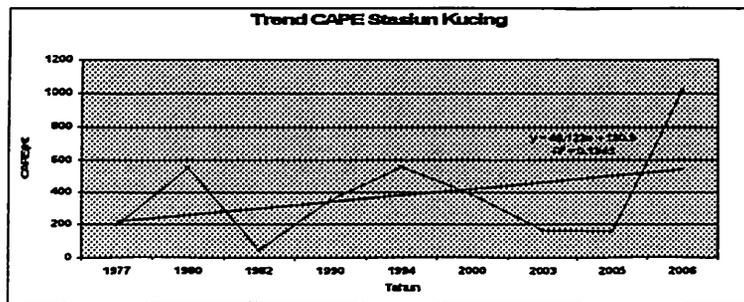
Gambar 3.8. Plot CAPE dan kecenderungan (trend) linearnya untuk stasiun cuaca Surabaya.

Dari gambar (3.8) terlihat bahwa kecenderungan (trend) linear yang negatif dari CAPE untuk stasiun Surabaya. Hasil korelasinya dengan bilangan bintang matahari didapat koefisien korelasi sebesar -0.68 yang merupakan koefisien korelasi negatif disertai dengan kecenderungan CAPE negatif dari semua stasiun yang diamati.

Tabel 3.4. Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintik Matahari untuk St. Surabaya

Stasiun Surabaya			
Tahun	CAPE (J/kg)	Sun. Spot Number	Korelasi
1988	930.7817	100.2	-0.6809
1996	1185.75	8.6	
1999	326.5633	93.3	

Dari gambar (3.9) terlihat bahwa kecenderungan (trend) linear yang positif dari CAPE untuk stasiun Kucing. Hasil korelasinya dengan bilangan bintik matahari didapat koefisien korelasi sebesar 0.87.

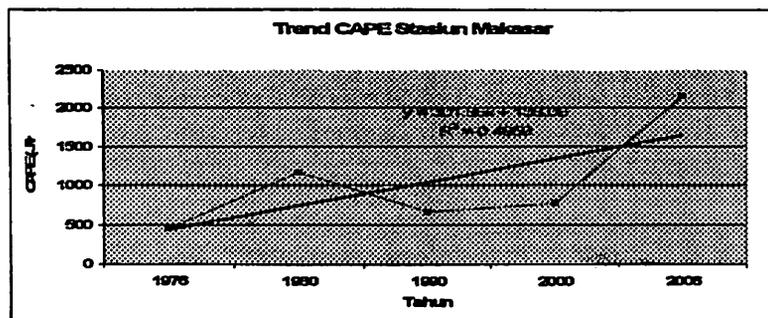


Gambar 3.9. Plot CAPE dan kecenderungan (trend) linearnya untuk stasiun cuaca Kucing

Tabel 3.5. Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintik Matahari untuk St. Kucing

Stasiun Kucing			
Tahun	CAPE (J/kg)	Sun. Spot Number	Korelasi
1997	194.269	12.6	0.87277
1980	552.1971	154.6	
1990	351.8292	142.6	
2000	386.1734	119.6	

Dari gambar (3.10) terlihat bahwa kecenderungan (trend) linear yang positif dari CAPE untuk stasiun Makasar. Hasil korelasinya dengan bilangan bintik matahari didapat koefisien korelasi sebesar 0.76.

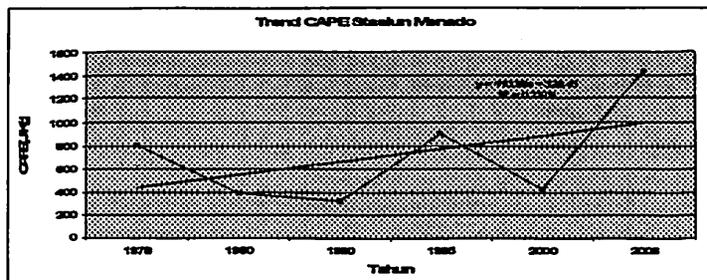


Gambar 3.10. Plot CAPE dan kecenderungan (trend) linearnya untuk stasiun cuaca Makasar

Tabel 3.6. Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintang Matahari untuk St. Makasar

Tahun	CAPE (J/Kg)	Sun Spot Number	Korelasi
1976	453.2886	13.6	0.768527
1980	1171.064	154.6	
1990	659.7686	142.6	
2000	771.5869	119.6	

Dari gambar (3.6) terlihat bahwa kecenderungan (trend) linear yang positif dari CAPE untuk stasiun Manado. Hasil korelasinya dengan bilangan bintang matahari didapat koefisien korelasi sebesar -0.95 yang merupakan koefisien korelasi negatif terbesar dari seluruh stasiun yang diamati.



Gambar 3.11. Plot CAPE dan kecenderungan (trend) linearnya untuk stasiun cuaca Manado

Tabel 3.7. Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintang Matahari untuk St. Manado Stasiun Manado

Tahun	CAPE (J/Kg)	Sun Spot Number	Korelasi
1988	930.7317	100.1	-0.95011
1996	1185.75	8.6	
1999	326.5633	93.3	

Tabel 3.8. Koefisien korelasi antara CAPE dan bilangan bintang Matahari untuk 7 stasiun cuaca yang diamati.

Korelasi CAPE dan Bilangan Bintang Matahari							
St	Medan	Padang	Jakarta	Surabaya	Kucing	Makasar	Manado
Korelasi	0.533768	-0.88195	0.359556	-0.6309	0.87277	0.768527	-0.95012

Dari 7 stasiun cuaca yang berhasil dihitung harga CAPE untuk masing-masing stasiun tersebut, 5 stasiun menunjukkan kecenderungan (trend) positif CAPE yaitu Stasiun Medan, Padang, Makasar, Manado dan Kucing serta 2 stasiun menunjukkan kecenderungan negatif yaitu Jakarta dan Surabaya selama periode pengamatan itu. Hasil korelasinya dengan bintang matahari menunjukkan nilai koefisien korelasi di atas 0.5 kecuali stasiun Jakarta yang hanya sebesar 0.35. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara aktivitas Matahari yang direpresentasikan dengan bilangan bintang Matahari dengan aktivitas atmosfer yang direpresentasikan dengan CAPE. Secara fisis bisa dipahami bahwa apabila bilangan bintang

matahari meningkat maka akan terdapat gradien suhu antara bintik Matahari yang relatif dingin dibandingkan dengan lingkungan di fotosfer, matahari, sehingga akan meningkat pula aktivitas flare. Efek meningkatnya flare ini akan mempengaruhi peningkatan radiasi matahari.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dan analisa maka dapat disimpulkan bahwa variasi dari energi potensial konvektif (CAPE) menunjukkan kecenderungan (trend) yang hampir positif di beberapa stasiun yang diamati, kecuali Stasiun Jakarta dan Surabaya. Korelasi antara CAPE dengan bilangan bintik matahari dari stasiun-stasiun radiosonde yang teramati berada pada rentang -0.9 sampai 0.8. Korelasi yang paling besar antara CAPE dengan bilangan bintik matahari ($r \sim -0.9$) dari stasiun yang diamati yaitu pada stasiun Manado. Korelasi yang paling kecil antara CAPE dengan bilangan bintik matahari ($r \sim 0.3$) dari stasiun yang diamati yaitu pada stasiun Jakarta. Ketidaksamaan ini kemungkinan adalah respon lokal yang berbeda-beda terhadap radiasi matahari. Hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengapa setiap daerah mempunyai respon yang berbeda-beda terhadap radiasi matahari. Ini merupakan hasil pendahuluan yang perlu dilanjutkan dengan daerah pengamatan yang luas dan rentang waktu yang lebih panjang.

DAFTAR RUJUKAN

- Budyko, M.I., 1982, *The Earth's Climate: Past and Future*. Academic Press, Inc
- Doswell, C. A and E.N. Rasmussen., 1994, *The effect of neglecting the virtual temperature correction on CAPE calculations*, *Weather forecast.*, 9, 625-629
- Emanuel, K.A., 1994, *Atmospheric Convection*. Oxford Univ. Press, New York
- Gottelman At all, 2002., *Multidecadal trends in tropical convective available potential energy*, *Journal of geophysical research.*, 107, No.D21
- NOAA, (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/)
- Wikipedia, The free of encyclopedia, www.wikipedia.org