

Variabel Prediktor untuk Membantu Analisis Cuaca

Oleh: D. Gunawan, E. Santoso, S. Bahri dan U. Haryanto.

INTISARI.

Hasil observasi pengukuran udara atas dari satu titik, menggunakan Radiosonde dapat dipakai sebagai bahan untuk memperkirakan (prediksi) keadaan cuaca, antara lain kestabilan udara, pertumbuhan awan sampai memperkirakan hujan atau tidak. Tulisan ini mengetengahkan dan memberi gambaran tentang pelbagai Variabel Prediktor penting, yang diperoleh secara langsung atau tidak langsung dari hasil sonding dan manfaatnya dalam kegiatan penyemaian awan.

PENDAHULUAN.

Variabel Prediktor adalah besaran yang dapat melengkapi perkiraan pertumbuhan awan dan potensi hujan dari awan konvektif. Hasil studi yang sudah pernah dilakukan sangat bervariasi, tergantung pada tempat studi atau penelitian tersebut dilaksanakan. Estoque dan Partagas (1974), mendapatkan bahwa Curah Hujan dari awan-awan konvektif di Florida mempunyai kolerasi terbalik (inversely correlated) dengan stabilitas udara, tetapi pada negara bagian Kansas dan Dakota didapatkan bahwa hujan yang berasal dari awan-awan konvektif tidak ada

atau kecil sekali korelasinya dengan stabilitas udara (Madigan, 1959 dan Denis et al, 1957). Jadi Variabel Prediktor dapat merupakan ciri khas bagi suatu daerah (region). Di bawahini adalah daftar variabel Prediktor dasar yang dapat diambil dari satu titik pengukuran, sounding atau observasi permukaan.

- A. **Suhu :**
 - Profil Suhu
 - Suhu Titik Embun
 - Suhu Bola Basah.
- B. **Kebasahan Udara :**
 - Kelembaban Relatif.
 - Kelembaban Spesifik.
- C. **Angin :**
 - Kecepatan
 - A r a h
- D. **Tekanan Udara :**
- E. **Per-awan-an :**
 - Per-awan-an :**
 - Jumlah
 - Jenis
 - Tinggi Dasar dan Puncak
 - Jarak Pandang (Visibility).

Mengingat bahwa tidak semua awan menghasilkan hujan serta mekanisme dan proses fisisnya terjadi pada lapisan-lapisan dengan ketinggian tertentu, maka dengan mengkombinasikan variabel dasar di atas dapat disusun variabel prediktor baru yang lebih khusus. Variabel Prediktor ini sekurang-kurangnya menunjukkan satu dari besaran fisis yang berkaitan erat dengan perkembangan dari sistem awan hujan konvektif, yaitu stabilitas udara, jumlah uap air di udara dan mekanisme pemicu hujan. Variabel ini di antaranya menunjukkan jumlah kandungan uap air, suhu titik embun dan lain-lain untuk lapisan ataupun titik. Besaran lain yang rumit seperti gradien dan adveksi dapat diperoleh melalui analisa lanjut. Penjabaran selanjutnya tentang analisis data lapangan seperti konvergensi, vortisitas dan lain-lain dapat membantu perkiraan luas penyebaran ke atas (vertical displacement). Kombinasi antara variabel prediktor dasar menghasilkan variabel yang baru.

Secara garis besar Variabel Prediktor dapat dibagi dalam 4 :

1. Variabel Prediktor Titik, diperoleh dari sonding tunggal atau pengamatan tunggal cuaca permukaan.
2. Variabel Prediktor Garis, memerlukan dua sondong atau dua lokasi pengamatan cuaca.

3. Variabel Prediktor Lapangan, berdasarkan distribusi parameter meteorologi.
4. Variabel Prediktor Lapangan, yang dibuat berdasarkan keluaran dari model prakiraan cuaca (weather forecasting).

Variabel Prediktor dari Sounding Titik (Tunggal).

Beberapa Variabel Prediktor yang ada, terutama yang berkaitan dengan proses atau mekanisme hujan ditampilkan di bawah ini :

1. Inversi.
2. Suhu Konveksi (T_c).
3. Perbedaan Suhu Konveksi dengan Suhu Permukaan ($T_c - T_s$).
4. Suhu Udara pada 500 mb (T_a).
5. Suhu Parsel udara yang naik pada 500 mb (T).
6. Sholwalter Index (I_s).
7. Lifted Index (I_L).
8. D. Index (I_d).
9. Suhu permukaan (T_s).
10. Cross Total Index (I_{ct}) pada $T_{500} - T_d, 850$ mb.
11. Vertikal Total Index (I_{vt}) pada $T_{500} - T_{850}$.
12. Total-total Index ($I_{ct} + I_{vt}$).
13. K. Index (I_K).
14. Tinggi Lapisan Kondensasi-konveksi (CCL).
15. Tinggi Lapisan Kondensasi Angkat (LCL).
16. Tinggi Lapisan Konveksi Bebas (FCL).
17. Mixing Ratio dari permukaan sampai CCL.
18. Saturation Deficit: 900, 800, 700, 600, dan 500 mb.
19. Precipitable Water (P_w).
- 20.
20. Severe Storm Index (I_{ss}).
21. Kecepatan Angin pada 500 mb.

22. Boyden Index (I_b).
23. Surjadi Index (I_{sd}).

Pada umumnya dari variabel prediktor di atas menunjukkan tingkat kelabilan udara (no. 1 s/d 16, 20 dan 22), kelembaban udara (17 s/d 20) dan kondisi awan (21, 23). Variabel Prediktor di atas dijabarkan atau dihitung dengan cara sebagai berikut :

Variabel 1: Adanya inversi dapat menghalangi konveksi, sehingga awan tidak tumbuh atau kalaupun dapat, tak bisa berkembang. Inversi dapat dilihat dari profil suhu yang digambarkan pada diagram skew T vs Log P yang berasal dari Sonding. Bila terdapat inversi maka pada profil suhu vertikal nampak adanya sebagian profil yang gradien suhunya positif

$$\left(\frac{dT}{dz} \right) > \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

artinya suhu parsel udara yang naik, lebih kecil dari suhu udara pada lapisan inversi ini.

Variabel 2, 3 dan 9 : Suhu konveksi T_c menyatakan suhu udara di dekat permukaan tanah yang perlu dicapai agar proses konveksi dapat mulai terjadi. T_c diketahui dari aerogram yaitu dengan menarik garis CCL mengikuti garis adiabatik kering sampai memotong di tempat permukaan, yang menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk memanaskan udara hingga mencapai konveksi. Jadi konveksi mudah tercapai, apabila perbedaannya dengan suhu udara relatif kecil.

Variabel 4, 5, 6 dan 7: Showalter Index (I_s) maupun Lifted Index (I_L) keduanya menyatakan selisih suhu parsel udara yang naik sampai 500 mb dengan suhu sekitarnya. Perbedaannya terletak pada tempat parsel udara tersebut naik ke atas. Kalau Showalter menganggap parsel udara mulai naik dari level permukaan yang sembarang, sedangkan kalau I_L menganggap parsel udara naik dari daerah di antara permukaan (1000 mb) sampai 900 mb.

$$I_s = T_{500} - (T_p)_{850}$$

$$I_L = T_{500} - (T)_S - 900$$

Variabel 8 : D. Index (I_d) adalah perbedaan ketebalan (z) lapisan 900 sampai 700 mb dengan lapisan 700 – 500 mb.

$$I_d = Z_{900-700} - Z_{700-500}$$

Variabel 10, 11 dan 12: Crosstotal (CT), Vertical Total (VT) dan Total-total (Miller, 1976) dikembangkan untuk memperkirakan cuaca sampai kondisi hujan badai-guntur (thunderstorm).

$$CT = T_{500} - (T_d)_{850}$$

$$VT = T_{500} - T_{850}$$

$$TT = CT + VT$$

$$= 2T_{500} - (T_d)_{850} - T_{850}$$

$$= 2T_{500} - (T_{d850} + T_{850})$$

Variabel 13 : K. Index (George 1600), I_k merupakan kombinasi 3 pengukuran suhu dan kelembaban. Stabilitas lapisan 850–500 mb, kelembaban pada 850 mb dan titik embun pada 700 mb, yang dinyatakan sebagai :

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d,850} - (T_{700} - T_{d,700})$$

Variabel 14, 15: CCL atau LCL adalah lapisan dimana udara yang terangkat oleh konveksi ataupun penghalang (barier) mulai mengembun. CCL maupun LCL yang tidak terlalu besar menunjukkan dasar (basis) awan-awan konvektif yang terbentuk tidak terlalu tinggi dan merupakan awan potensial hujan.

Variabel 16: FCL adalah lapisan dimana udara basah mulai naik dengan sendirinya karena ada arus naik (up draft).

Variabel 17: Mixing Ratio adalah rasio/perbandingan campuran tertinggi yang dapat dicapai antara uap air dan udara kering pada suhu tertentu. Mixing ratio yang tinggi menunjukkan tingkat kebasahan yang besar.

Variabel 18: Saturation Deficit (S_d) adalah perbedaan antara suhu udara dengan titik embunnya pada lapisan/ketinggian tertentu. Jika udara jenuh, maka perbedaan ini mendekati nol, akan turun hujan.

Variabel 19: Precipitable Water (P_w) dinyatakan dalam cm dan menunjukkan tebal lapisan "endapan" air bila semua uap air pada lapisan tersebut mengembun:

$$W = \frac{q}{g} (P_1 - P_2)$$

dimana,

q adalah mixing ratio rata-rata, g/kg

g adalah gravitasi, cm/detik²

P adalah tekanan pada batasan lapisan, mb.

Variabel 20: Severe storm index (I_{SS}) adalah jumlah ketebalan lapisan jenuh pada daerah konveksi basis sampai 500 mb dengan ketebalan lapisan pada daerah LCL sampai FCL. Lapisan jenuh adalah beda ketebalan udara antara suhu parcel (H_p) dan suhu Sounding (H_s). Secara analitis I_{SS} dinyatakan sebagai :

$$I_{ss} = (H_p - H_s)_{500-FCL} + (H_p - H_s)_{LCL-FCL}$$

Williams (1960) mendapatkan bahwa antara I_{SS} dengan hujan mempunyai korelasi baik.

Variabel 21: Kecepatan angin pada 500 mb menentukan pertumbuhan awan. Apabila kecepatan angin terlalu besar, awan tidak atau sulit berkembang menjadi awan potensial hujan.

Variabel 22: Boyden Index (I_b) menyatakan termal dan stabilitas untuk lapisan permukaan sampai 700 mb.

$$I_b = Z - T$$

dimana,

Z = tebal lapisan 900—700 mb, dam (deka meter).

T = tebal lapisan 700—200 mb.

Variabel 23: Surjadi Index (I_{sd}) menyatakan bahwa berdasarkan pengamatan dan pengalaman diketahui bahwa kecepatan angin yang lebih besar dari 10 knot di daerah pembentukan awan akan mengakibatkan awan potensial hujan menjadi rusak dan terhalau sehingga kemungkinan hujan di daerah pengukuran akan kecil sekali, atau akan menyebabkan hujan jatuh di tempat lain.

$$I_{sd} < 10 \text{ knot.}$$

PEMAKAIAN VARIABEL PREDIKTOR.

I. Index Kestabilan Atmosfer.

A. Showalter (1953) atas dasar pemikiran yang sangat rasional menetapkan bahwa selisih aljabar dari suhu udara dan suhu parcel udara pada 500 mb dapat dipakai untuk memprakiraan keadaan cuaca beberapa jam yang akan datang, karena hujan akan terjadi bila salah satu atau beberapa dari kondisi ini dipenuhi :

1. Terdapat cukup konvergensi, aktivitas frontal atau angkatan orografik untuk menyebabkan pertukaran fase bagi udara yang tidak stabil, di antara 850 – 500 mb .
2. Pengembunan harus dapat terjadi pada daerah di sekitar lapisan baku.
3. Udara lembab yang naik dapat mencapai lapisan konveksi bebas di bawah 500 mb.
4. Pemanasan udara basah pada lapisan bawah dan pendinginan di lapisan atas.

Harga index yang positif menyatakan udara/atmosfer yang stabil, sedangkan harga negatif menyatakan udara yang labil. Dari hasil pengamatannya di lapangan, hubungan antara index stability ini dengan keadaan cuaca yang akan datang adalah sebagai berikut:

$$I_s = 0 - 3^{\circ}\text{C} :$$

Pembentukan awan Cu/Cb masih dapat diharapkan terutama akibat pemanasan bumi.

$$I_s = 4 \text{ atau lebih} :$$

Cuaca akan baik/cerah, karena udara stabil.

$$I_s = 0 \text{ s/d} - 3^{\circ}\text{C} :$$

Cuaca akan menjadi buruk dan kemungkinan akan turun hujan.

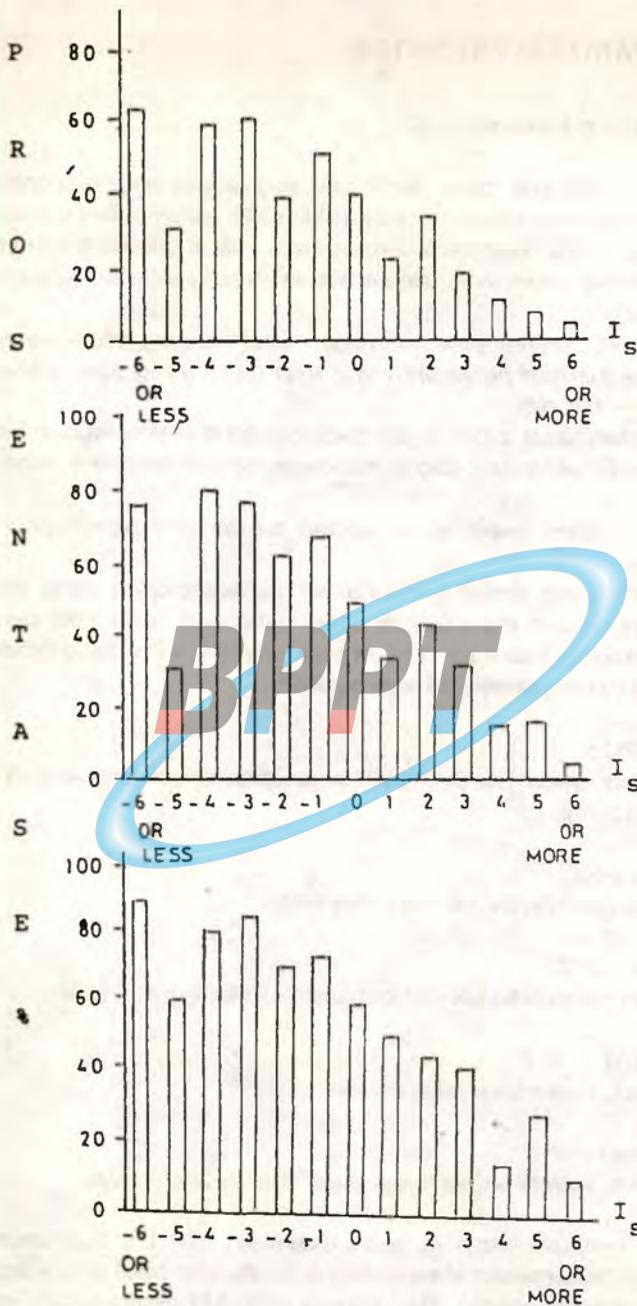
$$I_s = - 3 \text{ s/d} - 6^{\circ}\text{C} :$$

Cuaca buruk, hujan badai akan segera turun.

$$I_s \text{ kurang dari} - 6^{\circ}\text{C} :$$

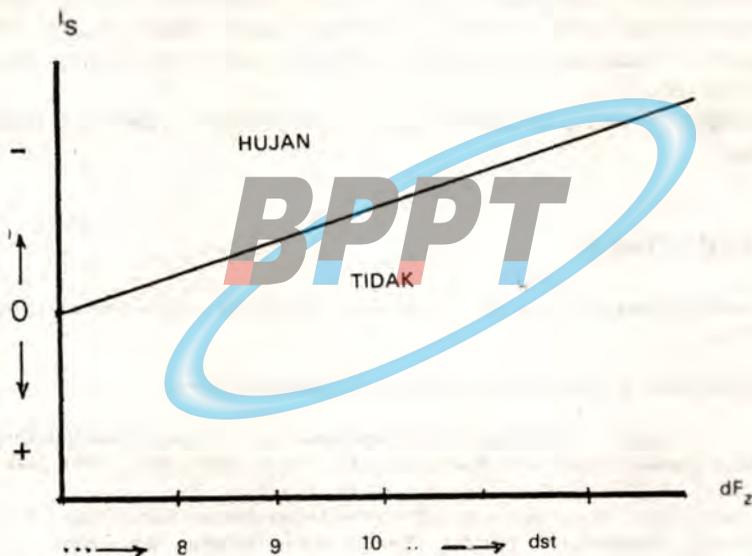
Cuaca buruk, segera terjadi hujan besar disertai angin ribut.

Pengujian terhadap index ini telah dilakukan oleh DV Subramanian dan PS. Jain dari Departemen Meteorologi India dengan hasil sesuai seperti yang diamati showalter sendiri. Dari kurang lebih 441 pengamatan, index showalter digambarkan terhadap kejadian hari hujan seperti gambar 1:



8 10 19 29 39 32 46 42 38 45 27 25 81 (frekuensi)
 Gambar 1. Indeks Showalter vs Frekuensi hari hujan.

B. Titik embun pada level tertentu juga sering dipakai untuk menentukan keadaan cuaca yang akan datang. Haryanto dan kawan-kawan, 1986, mendapatkan bahwa jika perbedaan titik embun udara (dF_z) dengan suhu udara pada lapisan 650 mb lebih dari 10°C , berarti keadaan udara dan tidak akan turun hujan/udara tetap cerah atau baik. Hal ini didasarkan pada ciri khas awan-awan di daerah Indonesia yang tidak terlalu tebal, sehingga puncaknya masih berada di bawah lapisan beku, walaupun demikian awan dapat/sering menghasilkan hujan. Analisis meteo dari BMG menggunakan perbedaan titik embun dengan suhu udara pada level beku yang dikombinasikan dengan indeks Showalter untuk menentukan akan adanya hujan atau tidak dari hasil sonding tunggal. Pernyataan ini disajikan dalam gambar/diagram 2:



Gambar (diagram) 2. I_s terhadap dF_z

Ini merupakan kombinasi antara kelabilan udara (yang berkaitan dengan mekanisme angkatan, konveksi ataupun orografik), dengan kelembaban/kejenuhan udara yang mendukung.

B. Precipitable Water (endapan air).

"Precipitable water" juga merupakan indikator yang baik dalam menganalisis keadaan cuaca, karena variabel ini menunjukkan jumlah

endapan air yang terjadi jika semua uap air yang terdapat di lapisan tertentu mengembun semua. Haryanto dan kawan-kawan (1986) mendapatkan bahwa bila endapan air yang terbentuk akibat pengembunan udara pada lapisan basah ($RH > 65\%$) lebih besar dari 1 cm maka ini merupakan pertanda bahwa hujan dapat turun pada daerah dengan radius ± 30 km di sekitar daerah pengukuran, dalam tempo 10 – 15 jam yang akan datang, seandainya keadaan udara memang cukup labil.

KESIMPULAN.

Karena variabel prediktor merupakan petunjuk keadaan cuaca yang akan terjadi pada beberapa jam ke depan maka variabel ini dapat dipakai untuk menentukan dukungan alam bagi suatu kegiatan penyemaian awan untuk menambah curah hujan. Jika dari analisis diketahui bahwa cuaca tidak mendukung maka kegiatan penyemaian awan dapat ditunda atau ditangguhkan beberapa saat sampai keadaan cuaca mendukung untuk kegiatan tersebut.

Dengan ini bisa diharapkan kegiatan penyemaian awan yang efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA.

1. Achtemeir, "Predictor Variables", Division of Atmospheric Water Resources, 1971, Illinois.
2. Schickedanz, "Statistical Design, Predictor Variables", idem.
3. U. Haryanto, dkk., "Hasil Penelitian Modifikasi Cuaca untuk menambah Curah Hujan melalui Penyemaian Awan Orografik Tahun 1985", BPPT, 1986, Jakarta.
4. S. Bahri, dkk., "Hubungan antara Stabilitas Udara dengan Curah Hujan di atas Gunung Tangkuban Perahu Berdasarkan Indeks Showalter yang Dimodifikasi", UPT-HB, 1987.
5. Subramanian, D.V. & P.S. Jian, "Stability Index and Area Forecasting of Thunderstorms", American Meteorological Society, 1953.