

Uji Akurasi Ambang Batas Indeks Stabilitas Atmosfer terhadap Pembentukan *Thunderstorm* dan Awan *Cumulonimbus* di Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanuddin

Amernurfitra Andi Rusdin^{1,2*}, Pariabti Palloan¹, Subaer¹, Adi Prasetyo²

¹Program Studi Fisika, Universitas Negeri Makassar, Makassar, 90222, Indonesia

²Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanuddin, Maros, 90552, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 7 Maret 2023
Direvisi: 21 Maret 2023
Diterima: 21 Maret 2023

Kata kunci:

awan *cumulonimbus*
ambang batas
indeks stabilitas
thunderstorm

Keywords:

cumulonimbus cloud
thunderstorm
stability index
threshold

Penulis Korespondensi:

Amernurfitra Andi Rusdin
Email:
amernurfitra.andi.rusdin@gmail.com

ABSTRAK

Indeks stabilitas memiliki nilai ambang batas dan akurasi nilai ambang batas yang beragam terhadap prakiraan terjadinya awan Cb dan *thunderstorm* di tiap wilayah, sehingga dengan kondisi tersebut indeks stabilitas sangat menarik untuk dikaji tak terkecuali di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin. Indeks stabilitas sangat beragam jenisnya, namun yang umum digunakan dalam memprakirakan terjadinya awan Cb dan *thunderstorm* adalah SI, LI, TTI, SWEAT, KI, dan CAPE. Pada penelitian ini, ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb dan *thunderstorm* hampir identik satu sama lain dengan bulan Desember merupakan bulan dengan ambang batas terendah dan tertinggi bagi tiap-tiap indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb dan *thunderstorm*. Akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb lebih baik dibandingkan akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian *thunderstorm* yang disebabkan oleh awan Cb yang muncul di suatu wilayah belum tentu menghasilkan *thunderstorm* namun ketika *thunderstorm* terjadi di suatu wilayah maka *thunderstorm* tersebut disebabkan oleh adanya awan Cb.

The stability index has a threshold value and the accuracy of the threshold value varies with the prediction of Cb cloud and thunderstorm in each region, so that under these conditions the stability index is very interesting to study, including at Sultan Hasanuddin International Airport. There are many types of stability indices, but those commonly used in predicting the occurrence of Cb cloud and thunderstorm are SI, LI, TTI, SWEAT, KI, and CAPE. In this study, the stability index thresholds for Cb cloud and thunderstorm were almost identical to each other with December being the month with the lowest and highest thresholds for each stability index for Cb cloud and thunderstorm. The accuracy of the stability index threshold for Cb cloud events is better than the stability index threshold accuracy for thunderstorm caused by Cb cloud that appear in an area may not necessarily produce thunderstorm, but when a thunderstorm occurs in an area, the thunderstorm is caused by the presence of Cb cloud.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada di garis khatulistiwa, sehingga dengan kondisi tersebut Indonesia mendapatkan surplus radiasi matahari yang mengakibatkan peningkatan aktivitas konvektif yang masif. Banyaknya aktivitas konvektif serta kondisi topografi yang bervariasi menyebabkan kondisi cuaca di berbagai wilayah Indonesia sangat kompleks dan unik satu sama lain (Prasetyo and Pusparini, 2019). Menurut Allaby (2007), cuaca dapat diartikan sebagai variasi atmosfer secara singkat pada wilayah tertentu yang salah satu unsurnya merupakan awan. Awan terdiri dari banyak jenis, namun yang paling memberikan dampak yang signifikan adalah awan *cumulonimbus*.

Menurut Tjasyono (2012), awan *cumulonimbus* atau biasa disebut dengan awan Cb merupakan awan rendah yang tumbuh secara vertikal sampai lapisan *tropopause*. Awan Cb sangat identik dengan cuaca buruk seperti *thunderstorm*, sehingga sangat membahayakan aktivitas manusia khususnya di bidang penerbangan. *Thunderstorm* merupakan salah satu fenomena cuaca yang terjadi akibat aktivitas awan Cb yang memindahkan muatan negatif ke tanah atau udara yang mengandung muatan positif sehingga menghasilkan guntur dan kilat Allaby (2007). Prakiraan terjadinya awan Cb dan *thunderstorm* sangat diperlukan untuk menjamin keselamatan dalam penerbangan, tak terkecuali di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin yang selama tahun 2015-2021 banyak pesawat mengalami *return to base*, *divert*, *go around*, dan *holding* akibat munculnya awan Cb dengan tinggi puncak 9000 m yang menghasilkan *thunderstorm*.

Prakiraan terjadinya *thunderstorm* umumnya didapatkan dari output pengamatan udara atas yang menggunakan radiosonde. Radiosonde adalah alat yang terdiri dari balon dan seperangkat sensor yang digunakan untuk mengukur suhu udara, titik embun, kelembapan udara, tekanan udara, ketinggian geopotensial, serta arah dan kecepatan angin (Ahrens, 2009). Data-data yang didapatkan dalam peluncuran radiosonde selanjutnya akan menghasilkan indeks stabilitas yang selanjutnya dianalisa sehingga menghasilkan prakiraan terjadinya *thunderstorm*. Menurut Wirjohamidjojo & Swarinoto (2013), indeks stabilitas terdiri dari berbagai macam, namun yang umum digunakan adalah *Showlater Index* (SI), *Lifted Index* (LI), *Totals Totals Index* (TTI), *Severe Weather Threat* (SWEAT), *K Index* (KI), dan *Convective Available Potential Energy* (CAPE).

Menurut Showalter (1953) dan Galway (1956), SI dan LI merupakan indeks stabilitas atmosfer yang digunakan untuk menentukan probabilitas terjadinya *thunderstorm* dengan menggunakan faktor suhu parcel dan suhu lingkungan pada lapisan 500 mb namun perbedaan kedua indeks tersebut terletak pada kondisi suatu parcel udara. *Thunderstorm* erat kaitannya dengan aktivitas konvektif dalam tahap pembentukannya, sehingga diperlukan indeks KI, SWEAT dan TTI untuk menentukan probabilitas terjadinya aktivitas konvektif. Menurut George (1960) dan Miller (1972), perbedaan KI, SWEAT, dan TTI terletak pada ketinggian geopotensial yang digunakan dalam menghasilkan suatu nilai dengan KI menggunakan ketinggian 850, 700, dan 500 mb sedangkan SWEAT dan TTI menggunakan ketinggian 850 mb dan 500 mb. Energi suatu parcel udara sangat penting dalam pembentukan *thunderstorm*, sehingga CAPE sangat diperlukan untuk mengetahui energi suatu parcel dalam pembentukan *thunderstorm*. Menurut Moncrieff & Miller (1976), CAPE adalah indeks stabilitas atmosfer berupa energi yang dimiliki suatu parcel udara yang terangkat dari *lifting condensation level* hingga *equilibrium level*.

Berbagai indeks stabilitas memiliki nilai ambang batas dan akurasi nilai ambang batas yang beragam terhadap kejadian awan Cb dan *thunderstorm* di tiap wilayah yang disebabkan oleh perbedaan iklim dan kondisi geografis, sehingga dengan kondisi tersebut indeks stabilitas sangat menarik untuk dikaji. Penelitian sebelumnya yang membahas tentang nilai ambang batas dan akurasi nilai ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb dan *thunderstorm* pernah dilakukan di Surabaya dan Jakarta dengan nilai ambang batas indeks stabilitas di Surabaya dan Jakarta terhadap kejadian awan Cb dan *thunderstorm* hampir seragam dengan akurasi terbaik sebesar 70% keatas yang didapatkan dari nilai ambang batas CAPE sebesar 692, KI sebesar 32, SI sebesar 1, LI sebesar -1, dan TTI sebesar 43 (Putra et al., 2016; Sugihartati, 2020).

Berdasarkan pemahaman diatas, penulis tertarik untuk mengkaji lebih dalam tentang uji akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb dan *thunderstorm* di Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanuddin. Penelitian ini sangat penting dilakukan karena hasil dalam penelitian ini dapat dijadikan panduan bagi *forecaster* dalam memprakirakan terjadinya awan Cb dan *thunderstorm* yang sangat membahayakan aktivitas penerbangan.

II. METODE

Lokasi yang diambil dalam penelitian ini adalah Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanuddin yang terletak pada koordinat 05°03'71" LS dan 119°33'65" BT dengan ketinggian 11,76 m. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dengan rentang waktu 2015-2021 yang meliputi data output radiosonde, data cuaca, dan data awan. Data output radiosonde meliputi data ketinggian geopotensial, suhu, titik embun, arah angin, dan kecepatan angin yang didapatkan dari hasil observasi. Data cuaca meliputi data dengan sandi 17 (*thunderstorm no precipitation*), 29 (*recent thunderstorm*), 91 (*slight rain recent thunderstorm*), 92 (*moderate or heavy rain recent thunderstorm*), 95 (*slight or moderate thunderstorm no hail with rain*), 96 (*slight or moderate thunderstorm with hail*), 97 (*heavy thunderstorm no hail with rain*), dan 99 (*heavy thunderstorm with hail*) yang didapatkan dari hasil observasi. Data awan meliputi data dengan sandi 3 (*cumulonimbus* tanpa landasan, disertai atau tidak disertai *cumulus*, *stratocumulus*, dan *stratus*) dan 9 (*cumulonimbus* biasanya berlandaskan disertai *cumulus*, *stratocumulus*, *stratus*, dan *cumulonimbus* yang tidak berlandaskan) yang didapatkan dari hasil observasi.



Gambar 1 Lokasi penelitian

Setelah tahap pengumpulan data telah dilaksanakan, tahapan selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mencari nilai indeks stabilitas dari output peluncuran radiosonde dengan persamaan sebagai berikut:

$$SI = T_e 500 - T_p 500 \quad (1)$$

$$LI = T_{500} - T'_{500} \quad (2)$$

$$TTI = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - T_{500}) \quad (3)$$

$$SWEAT = 20(TTI - 49) + 12Td_1 + 2f_1 + f_2 + 125(\sin \alpha + 0,2) \quad (4)$$

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700}) \quad (5)$$

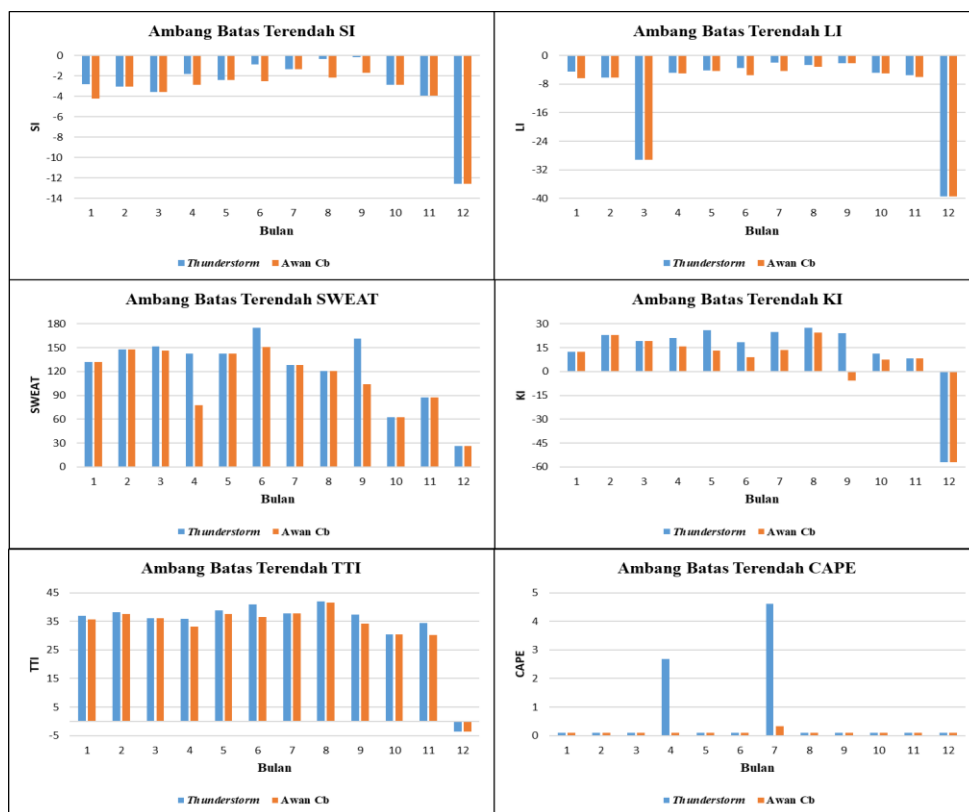
$$CAPE = \int_{z_1}^{z_2} g \left(\frac{T_{par} - T_{env}}{T_{env}} \right) dz \quad (6)$$

Pada Persamaan 1 terdapat $T_e 500$ yang merupakan suhu lingkungan lapisan 500 mb dan $T_p 500$ yang merupakan suhu parsel udara lapisan 500 mb. Pada Persamaan 2 terdapat T_{500} yang

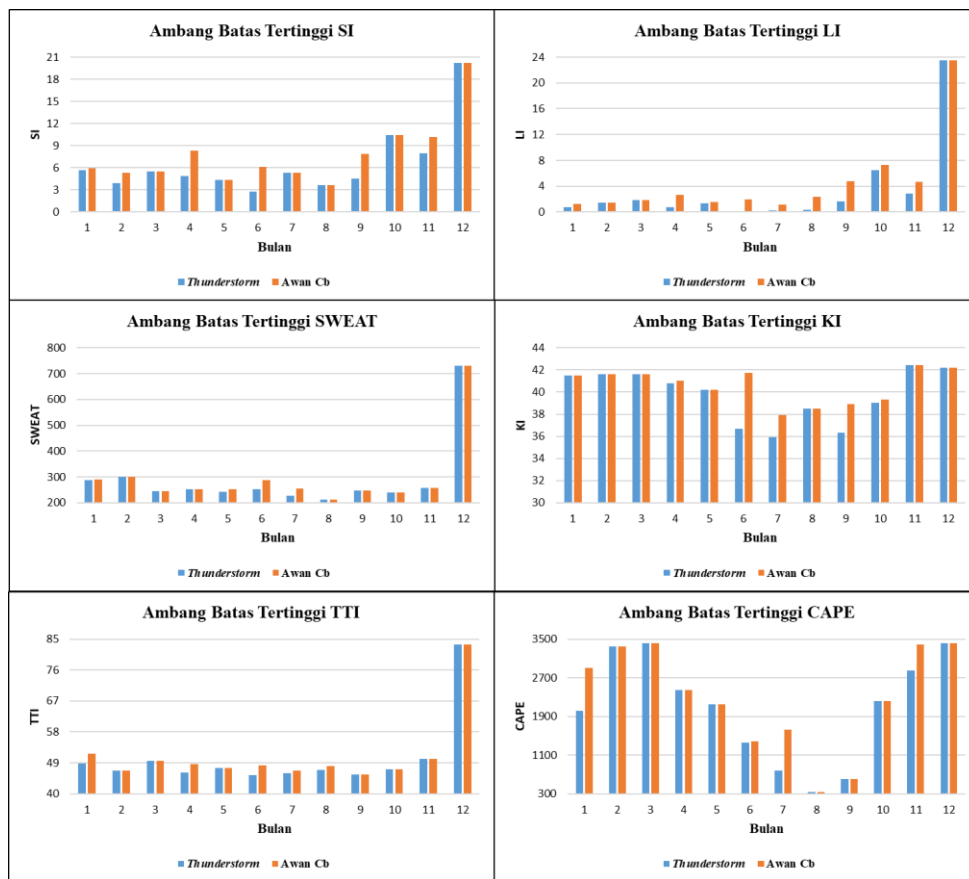
merupakan suhu lingkungan lapisan 500 mb dan T'_{500} yang merupakan suhu parcel udara yang terangkat secara adiabatik pada lapisan 500 mb. Pada Persamaan 3 terdapat T_{850} yang merupakan suhu lapisan 850 mb, T_{500} yang merupakan suhu lapisan 500 mb, serta Td_{850} yang merupakan titik embun lapisan 850 mb. Pada Persamaan 4 terdapat TTI yang merupakan *totals totals index*, Td_1 yang merupakan titik embun lapisan 850 mb, f_1 yang merupakan kecepatan angin lapisan 850 mb, f_2 yang merupakan kecepatan angin lapisan 500 mb, serta α yang merupakan selisih arah angin lapisan 500 mb terhadap lapisan 850 mb. Pada Persamaan 5 terdapat T_{850} yang merupakan suhu lapisan 850 mb, T_{700} yang merupakan suhu lapisan 700 mb, T_{500} yang merupakan suhu lapisan 500 mb, Td_{850} yang merupakan titik embun lapisan 850 mb, serta Td_{700} yang merupakan titik embun lapisan 700 mb. Pada Persamaan 6 terdapat g yang merupakan percepatan gravitasi, T_{par} yang merupakan suhu parcel udara, T_{env} yang merupakan suhu lingkungan, Z_1 yang merupakan *lifting condensation level*, serta Z_2 yang merupakan *equilibrium level*.

- Membagi data menjadi 2 bagian dengan rincian bagian pertama adalah data tahun 2015-2020 sedangkan bagian kedua adalah data tahun 2021. Data tahun 2015-2020 digunakan untuk membentuk nilai ambang batas indeks stabilitas perbulan sedangkan data tahun 2021 digunakan untuk verifikasi nilai ambang batas indeks stabilitas perbulan yang sudah didapatkan. Pemilihan data tahun 2015-2020 untuk pembuatan nilai ambang batas indeks stabilitas dan data tahun 2021 untuk verifikasi nilai ambang batas indeks stabilitas yang sudah didapatkan didasarkan pada penelitian Gholami et al. (2015) yang menyatakan bahwa data latih untuk menentukan suatu nilai ambang batas minimal 70% dari keseluruhan data.
- Menentukan nilai ambang batas indeks stabilitas pada tiap bulan dengan menggunakan nilai minimum beserta nilai maksimum yang menghasilkan kejadian *thunderstorm* dan awan Cb.
- Memverifikasi nilai ambang batas indeks stabilitas yang sudah didapatkan dengan mencari akurasi tiap bulannya.

III. HASIL DAN DISKUSI



Gambar 2 Ambang batas terendah indeks stabilitas

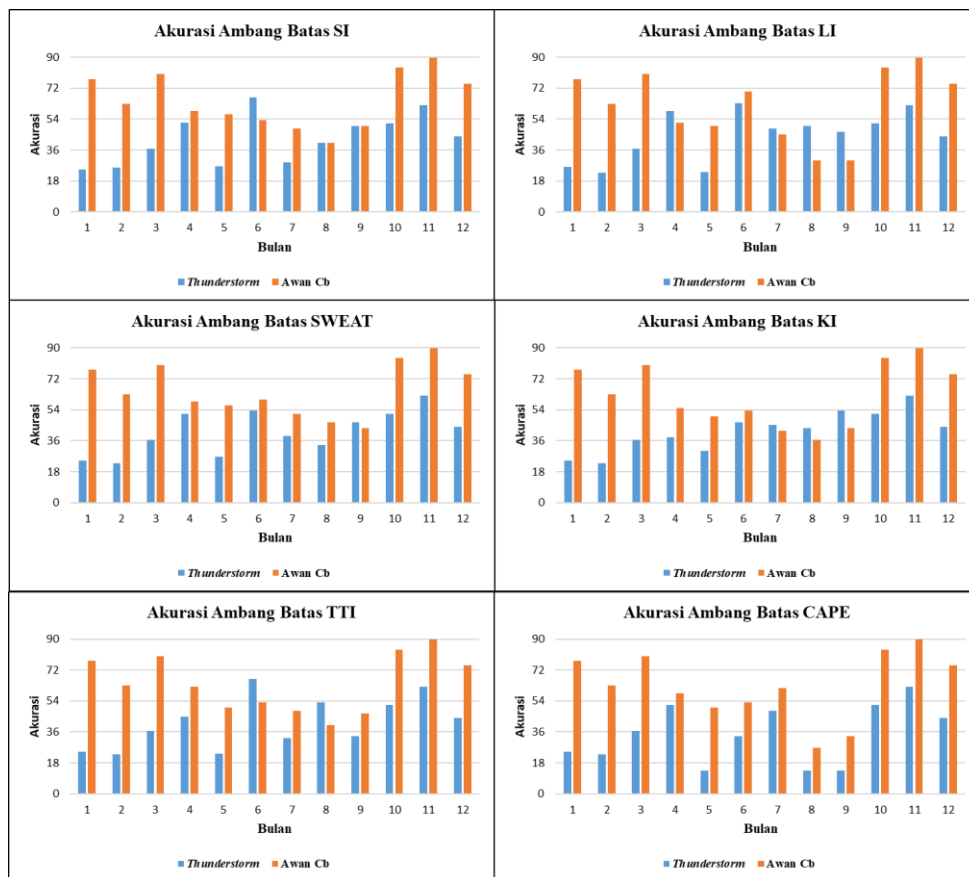


Gambar 3 Ambang batas tertinggi indeks stabilitas

Pada Gambar 2 dan Gambar 3, didapatkan ambang batas indeks stabilitas perbulan yang bervariasi terhadap *thunderstorm* dan awan Cb. Ambang batas indeks stabilitas terhadap *thunderstorm* dan awan Cb secara umum hampir identik satu sama lain dengan rincian ambang batas terendah dan tertinggi meliputi ambang batas SI berkisar antara -12,55 sampai dengan 20,18; ambang batas LI berkisar antara -39,41 sampai dengan -23,45; ambang batas TTI berkisar antara 25,99 sampai dengan 731; ambang batas SWEAT berkisar antara -56,9 sampai dengan 42,4; ambang batas KI berkisar antara -3,6 sampai dengan 83,4; dan ambang batas CAPE berkisar antara 0 sampai dengan 3419,86. Perbedaan ambang batas terendah pada masing-masing indeks stabilitas secara umum disebabkan oleh tingginya ambang batas untuk kejadian *thunderstorm* terhadap ambang batas untuk kejadian awan Cb. Berbanding terbalik dengan ambang batas terendah, perbedaan ambang batas tertinggi pada masing-masing indeks stabilitas secara umum disebabkan oleh tingginya ambang batas untuk kejadian awan Cb terhadap ambang batas untuk kejadian awan *thunderstorm*.

Secara umum ambang batas terendah dan tertinggi untuk masing-masing indeks stabilitas di Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanuddin terdapat pada bulan Desember. Hal tersebut dikarenakan pada bulan Desember merupakan bulan dengan pembentukan *thunderstorm* dan awan Cb yang masif akibat tingginya kelembapan lapisan atas serta besarnya energi yang membuat parcel udara yang tidak stabil terangkat membentuk *thunderstorm* dan awan Cb (Allaby, 2007). Ambang batas terendah dan tertinggi indeks stabilitas pada penelitian sebelumnya di Surabaya (Putra *et al.*, 2016) secara umum terjadi pada musim penghujan yang salah satu bulannya adalah bulan Desember, sehingga dapat dikatakan ambang batas terendah dan tertinggi indeks stabilitas pada penelitian ini memiliki kemiripan dengan penelitian sebelumnya.

Pada penelitian ini didapatkan akurasi ambang batas indeks stabilitas perbulan yang bervariasi terhadap *thunderstorm* dan awan Cb. Akurasi ambang batas indeks stabilitas perbulan terhadap *thunderstorm* dan awan Cb disajikan dalam Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Akurasi ambang batas indeks stabilitas

Pada Gambar 4, akurasi nilai ambang batas indeks stabilitas terhadap *thunderstorm* cenderung cukup baik serta sangat bervariasi dengan rincian akurasi nilai ambang batas SI berkisar antara 24,56% sampai dengan 66,67%; LI berkisar antara 22,86% sampai dengan 63,33%; TTI berkisar antara 22,86% sampai dengan 62,07%; SWEAT berkisar antara 22,86% sampai dengan 62,07%; KI berkisar antara 22,86% sampai dengan 66,67%; dan CAPE berkisar antara 13,33% sampai dengan 62,07%. Akurasi nilai ambang batas indeks stabilitas terhadap awan Cb cenderung baik serta sangat bervariasi dengan rincian akurasi nilai ambang batas SI berkisar antara 40% sampai dengan 89,66%; LI berkisar antara 30% sampai dengan 89,66%; TTI berkisar antara 43,33% sampai dengan 89,66%; SWEAT berkisar antara 36,67% sampai dengan 89,66%; KI berkisar antara 40% sampai dengan 89,66%; dan CAPE berkisar antara 26,67% sampai dengan 89,66%.

Pada musim pancaroba yang terdapat pada bulan September, Oktober, dan November umumnya ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian *thunderstorm* dan awan Cb memiliki akurasi yang paling baik. Hal tersebut dikarenakan awan yang terbentuk dari timur Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanuddin akibat topografi perbukitan dan gunung bertemu dengan awan yang terbentuk dari barat Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanuddin akibat masuknya massa udara yang lembap dari Laut Jawa sehingga menghasilkan *thunderstorm* dan awan Cb yang beragam serta mencakup hampir keseluruhan ambang batas indeks stabilitas. Secara umum akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb lebih baik dibandingkan akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian *thunderstorm*. Secara meteorologis, awan Cb yang muncul di suatu wilayah belum tentu menghasilkan *thunderstorm* namun ketika *thunderstorm* terjadi di suatu wilayah maka *thunderstorm* tersebut disebabkan oleh adanya awan Cb, sehingga hal tersebut menyebabkan akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb lebih baik dibandingkan akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian *thunderstorm* (Ahrens, 2009).

IV. KESIMPULAN

Ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian *thunderstorm* dan awan Cb hampir identik satu sama lain dengan bulan Desember merupakan bulan dengan ambang batas terendah dan tertinggi bagi tiap-tiap indeks stabilitas terhadap kejadian *thunderstorm* dan awan Cb. Akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian awan Cb lebih baik dibandingkan akurasi ambang batas indeks stabilitas terhadap kejadian *thunderstorm* yang disebabkan oleh awan Cb yang muncul di suatu wilayah belum tentu menghasilkan *thunderstorm* namun ketika *thunderstorm* terjadi di suatu wilayah maka *thunderstorm* tersebut disebabkan oleh adanya awan Cb.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, C. (2009), *Meteorology Today : An Introduction To Weather, Climate, And The Environment*, Brooks/Cole, Belmont.
- Allaby, M. (2007), *Encyclopedia of Weather and Climate (Revised Edition)*, Facts on File, New York.
- Galway, J.G. (1956), "The Lifted Index as a Predictor of Latent Instability", *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 37 No. 10, pp. 528–529, doi: 10.1175/1520-0477-37.10.528.
- George, J. (1960), *Weather Forecasting for Aeronautics, Weather Forecasting for Aeronautics*, Academic Press, London, doi: 10.1016/c2013-0-12567-6.
- Gholami, V., Chau, K., Fadaee, F., Torkaman, J. and Ghaffari, A. (2015), "Modeling of groundwater level fluctuations using dendrochronology in alluvial aquifers", *Journal of Hydrology*, Elsevier B.V., Vol. 529, pp. 1060–1069, doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.09.028.
- Miller, R.C. (1972), *Notes on Analysis and Severe-Storm Forecasting Procedures of The Air Force Global Weather Central*, Air Weather Service United States Air Force, Springfield.
- Moncrieff, M.W. and Miller, M.J. (1976), "The Dynamics and Simulation of Tropical Cumulonimbus and Squall Lines", *Journal Meteorological Society*, Vol. 102 No. 432, pp. 373–394, doi: 10.1002/qj.49710243208.
- Prasetyo, B. and Pusparini, N. (2019), "Respon Curah Hujan Terhadap El Nino Modoki Di Sulawesi", *Jurnal Meteorologi Dan Geoisika*, Vol. 20 No. 1, p. 21.
- Putra, R., Zakir, A., Permata, C., Aiqiu, L. and Azzahra, A. (2016), "Penentuan Ambang Batas Cape Dan K Indeks Terhadap Prediksi Awan Cumulonimbus Dan Badai Guntur Di Surabaya Periode 2010-2014", *Prosiding Anomali Cuaca Dan Iklim Sebagai Peluang Dan Tantangan*, pp. 96–108.
- Showalter, A.K. (1953), "A Stability Index for Thunderstorm Forecasting", *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. 34 No. 6, pp. 250–252.
- Sugihartati, F. (2020), "Penentuan Ambang Batas Baru Indeks Stabilitas Terhadap Prediksi Kejadian Awan Cumulonimbus Dan Badai Guntur Di Wilayah Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta", *Buletin Met Aero Aviation Safety From The Weather*, Vol. 3 No. 2, pp. 21–27.
- Tjasyono, B. (2012), *Mikrofisika Awan Dan Hujan*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Wirjohamidjojo, S. and Swarinoto, Y. (2013), *Meteorologi Sinoptik (Analisis Dan Penaksiran Hasil Analisis Cuaca Sinoptik)*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.