

INFORMASI KEJADIAN KHUSUS

BALI, PANAS, DAN TANTANGAN HEAT STRESS

Diana Siregar, Kadek Hadisuata, I Wayan Musteana

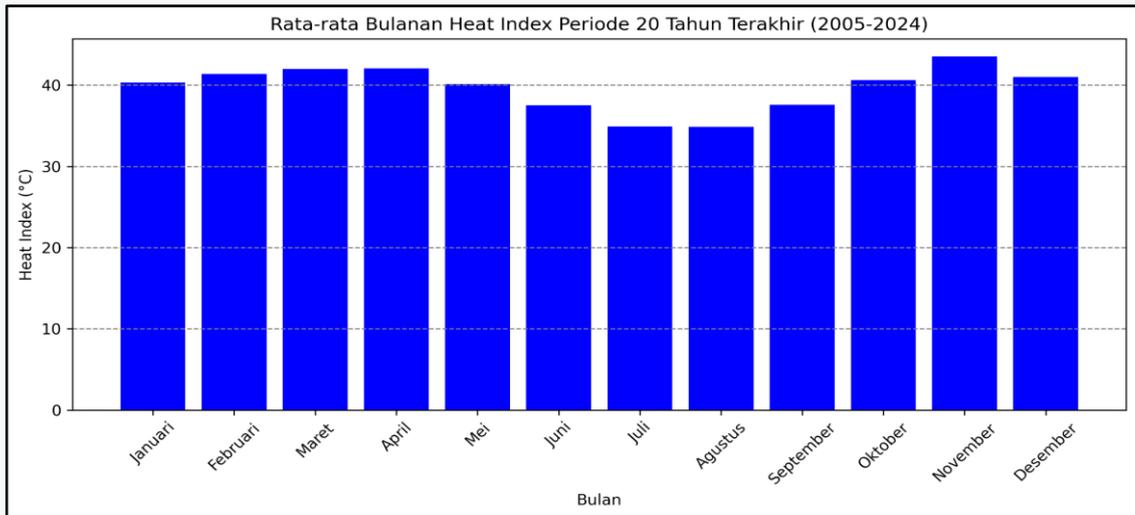
BBMKG Wilayah III

BBMKG Wilayah III Bali, dengan letaknya yang dekat garis khatulistiwa, punya suhu dan kelembapan udara yang relatif tinggi hampir sepanjang tahun. Kondisi ini membuat siapapun (baik penduduk lokal maupun wisatawan) berisiko mengalami stres panas (*heat stress*). Kondisi stres panas bisa mempengaruhi produktivitas, kesehatan, bahkan membuat tubuh lebih rentan terhadap bahaya lingkungan lain [1]. Fenomena ini juga bisa menjadi tanda adanya *heat wave* atau gelombang panas, yang kini semakin sering terjadi akibat perubahan iklim.

Aktivitas di ruang terbuka seperti pantai, gunung, atau objek wisata lain, membuat para turis lebih rentan terpapar panas. Begitu pula pekerja di sektor pariwisata di Bali yang sering bekerja di luar ruangan. Paparan panas yang terus-menerus bisa memicu kelelahan (*fatigue*), kram panas (*heat cramp*), bahkan serangan panas (*heat stroke*) ([2],[3]).

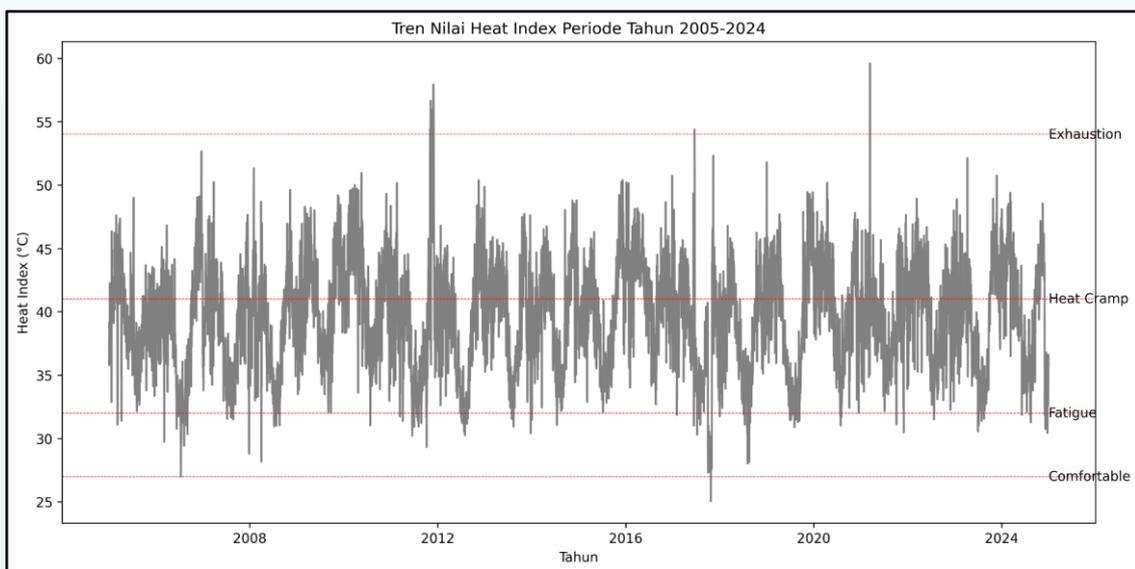
Sayangnya, riset dan pemodelan *Heat Index* (HI) ([2],[4],[5]) di Bali masih minim. Padahal, data ini penting untuk kebijakan adaptasi cuaca panas di masa depan. Di sinilah teknologi *Machine Learning* (ML) berperan. Dengan memanfaatkan data harian suhu dan kelembapan udara dari Stasiun Meteorologi Ngurah Rai selama 20 tahun terakhir (2005-2024), analisis perhitungan dan prediksi nilai HI dapat dilakukan. Empat model ML akan dibandingkan kinerjanya: *Random Forest*, *Long Short-Term Memory*, *Linear Regression*, dan ARIMA. Hasilnya diharapkan bisa memberi gambaran yang akurat tentang risiko panas di Kuta, Bali.

Analisis Nilai Heat Index (HI)



Gambar 1. Rata-rata bulanan nilai HI untuk periode waktu 20 tahun terakhir (2005-2024)

Berdasarkan data Stasiun Meteorologi Ngurah Rai untuk 20 tahun terakhir (Gambar 1), rata-rata bulanan HI di wilayah Kuta menunjukkan pola yang cukup jelas. Nilai HI rendah umumnya tercatat pada bulan Juli dan Agustus. Kondisi ini dipengaruhi oleh suhu udara yang lebih rendah di Bali akibat intrusi massa udara dingin dan kering dari Belahan Bumi Selatan (BBS) yang saat itu sedang berada pada musim dingin. Selain itu, periode Juni hingga Agustus merupakan musim kemarau di Bali. Pada musim ini, langit cenderung cerah dengan sedikit awan di siang hari, sehingga pendinginan udara pada malam hari berlangsung lebih efektif. Meski penurunan suhu di musim kemarau tidak terlalu drastis, kelembapan udara yang lebih rendah membuat udara terasa lebih sejuk dan nyaman dibandingkan bulan-bulan lembab seperti November hingga Maret.



Gambar 2. Tren nilai HI periode 2005-2024

Berdasarkan data periode 2005-2024 (Gambar 2), tren harian nilai HI menunjukkan variasi yang cukup variatif. Secara umum, nilai harian HI yang tercatat di Stasiun Meteorologi Ngurah Rai berada pada kategori *fatigue*, *heat cramp*, dan *exhaustion*. Kondisi ini menunjukkan bahwa suhu dan kelembapan udara yang tinggi di wilayah Kuta dapat meningkatkan risiko kelelahan hingga kram otot pada individu, terutama saat aktivitas dilakukan di bawah paparan sinar matahari yang intens. Selain itu, Gambar 2 memperlihatkan adanya sejumlah nilai HI yang jauh lebih tinggi atau rendah dibandingkan pola umum pada dataset. Nilai-nilai ini dikategorikan sebagai *outlier*. Penghapusan *outlier* pada tahap preprocessing model ML diperlukan untuk memperoleh dataset yang lebih bersih dan meminimalkan bias, sehingga hasil prediksi model lebih representatif terhadap kondisi aktual.

Tabel 1. Perbandingan nilai RMSE, koefisien determinasi (R^2), dan MAE

Model	RMSE	R^2	MAE
<i>Random Forest</i>	0,15	1,00	0,05
<i>Long Short-Term Memory</i>	2,24	0,65	1,65
<i>Linear Regression</i>	0,44	0,99	0,25
ARIMA	3,81	-0,01	0,25

Berdasarkan Tabel 1, model ML dengan performa terbaik adalah *Random Forest* (RF). Model ini memiliki nilai RMSE dan MAE terendah dibandingkan dengan model lainnya, serta nilai R^2 sebesar 1. Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa prediksi sangat mendekati data aktual, sedangkan MAE yang kecil menandakan rata-rata selisih absolut antara prediksi dan nilai aktual juga kecil. R^2 bernilai 1 berarti model mampu menjelaskan 100% variasi nilai HI pada data uji. Dengan indikator tersebut, model RF dapat dikatakan bekerja sangat baik pada data uji. Namun, nilai R^2 yang terlalu sempurna perlu diwaspadai sebagai indikasi *overfitting*, yaitu kondisi dimana model terlalu menyesuaikan diri dengan data pelatihan sehingga kurang mampu melakukan generalisasi pada data baru. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lanjutan untuk memastikan model tetap andal saat digunakan pada data di luar sampel pelatihan.

Referensi

- [1] Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*. 44(3), 388-398. doi.org/10.2486/indhealth.44.388
- [2] Awasthi, A., Vishwakarma, K., & Pattnayak, K. C. (2002). Retrospection of heatwave and heat index. *Theoretical and Applied Climatology*. 147(1), 589-604. doi.org/10.1007/s00704-021-03854-z
- [3] Lu. Y. C. (2023). The heat index: An apparent temperature that maps climate to human physiology. (Doctoral dissertation, University of California, Berkeley). 30493261
- [4] Anderson, G. B., Bell, M. L., & Peng, R. D. (2013). Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research. *Environmental health perspectives*. 121(10), 1111-1119. doi.org/10.1289/ehp.1206273
- [5] El Morjani, Z. E .A., Ebener, S., Boos, J., Abdel, G. E., & Musani, A. (2007). Modelling the spatial distribution of five natural hazards in the context of the WHO/EMRO Atlas of Disaster Risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters. *International journal of health geographics*, 6(1), 8. doi.org/10.1186/1476-072X-6-8