

**PREDIKSI EKSOPLANET DI ZONA LAYAK HUNI DALAM
SISTEM KEPLANETAN LUAR TATA SURYA
MENGUNAKAN *UNSUPERVISED MACHINE LEARNING***



SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Antariksa dan Energi
Tinggi

Oleh:

Muhammad Azfa Az-Dzikri

NIM. 2103075

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2025**

**PREDIKSI EKSOPLANET DI ZONA LAYAK HUNI DALAM
SISTEM KEPLANETAN LUAR TATA SURYA
MENGUNAKAN *UNSUPERVISED MACHINE
LEARNING***

Oleh
Muhammad Azfa Az-Dzikri
NIM. 2103075

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains Program Studi Fisika pada Fakultas Pendidikan Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam

© Muhammad Azfa Az-Dzikri
Universitas Pendidikan Indonesia
2025

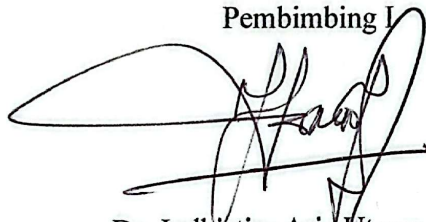
Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
Dengan dicetak ulang, difoto kopi atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis

LEMBAR PENGESAHAN
MUHAMMAD AZFA AZ-DZIKRI

PREDIKSI EKSOPLANET DI ZONA LAYAK HUNI DALAM
SISTEM KEPLANETAN LUAR TATA SURYA
MENGGUNAKAN *UNSUPERVISED MACHINE LEARNING*

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

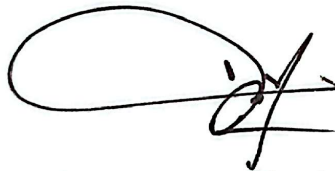
Pembimbing I



Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.

NIP. 197703312008121001

Pembimbing II



Prof. Lala Septem Riza, M.T., Ph.D.

NIP. 197809262008121001

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Akademik



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Azfa Az-Dzikri

NIM : 2103075

Program Studi : Fisika

Judul Karya : Prediksi Eksoplanet di Zona Layak Huni Dalam Sistem
Keplanetan Luar Tata Surya Menggunakan *Unsupervised Machine Learning*

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri.

Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan,
bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang
telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur
plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di
Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, Agustus 2025



Muhammad Azfa Az-Dzikri

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang, atas limpahan rahmat, karunia, dan nikmat-Nya yang tiada terhingga. Berkat izin dan pertolongan-Nya, penulis dapat menuntaskan penulisan skripsi berjudul “Prediksi Eksoplanet di Zona Layak Huni Dalam Sistem Keplanetan Luar Tata Surya Menggunakan *Unsupervised Machine Learning*”. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabatnya, yang syafaatnya kita nantikan di hari akhir kelak.

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika, dengan peminatan pada Kelompok Bidang Kajian Fisika Antariksa dan Energi Tinggi. Dengan penuh rasa hormat dan tulus, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing, seluruh dosen, sahabat, serta pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan motivasi, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis menyadari bahwa penyusunan karya ini tidak akan mungkin rampung tanpa arahan, bimbingan, dan kontribusi berbagai pihak.

Selain itu, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri maupun pembaca, dan semoga Allah SWT senantiasa membimbing kita dalam menuntut ilmu demi memperoleh ridho-Nya. Aamiin.

Bandung, Agustus 2025



Muhammad Azfa Az-Dzikri

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan skripsi ini merupakan rangkaian proses penelitian yang memberikan banyak pembelajaran dan pengalaman berharga bagi penulis. Dalam pelaksanaannya, penulis memperoleh dukungan, doa, serta bantuan dari berbagai pihak, baik dalam bentuk moral, tenaga, maupun materi. Oleh karena itu, dengan penuh hormat dan rasa syukur, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang mendalam, seraya memohon semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan keridaan-Nya kepada pihak-pihak berikut:

1. Kepada kedua orang tua, kakak, dan teteh penulis yang senantiasa menjadi sumber motivasi utama. Terima kasih atas segala bentuk pengorbanan, dukungan, serta doa yang diberikan sejak awal perkuliahan hingga terselesaikannya penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta dukungan sejak awal perkuliahan hingga terselesaikannya penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Lala Septem Riza, M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing dari Program Studi Ilmu Komputer, yang telah berkenan membagikan ilmu, memberikan arahan, dukungan, serta bimbingan hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Bapak Dr. Endi Suhendi, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika FPMIPA UPI sekaligus dosen wali penulis, yang senantiasa memberikan dukungan, arahan, dan motivasi selama menjalani masa perkuliahan..
5. Seluruh dosen dan staf Program Studi Fisika yang telah memberikan bimbingan dan ilmu selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman mahasiswa Fisika C 2021 FPMIPA UPI yang senantiasa memberikan semangat, dan dukungan selama menempuh perkuliahan.
7. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan atas segala bantuan, dan dukungan, meskipun tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga setiap kebaikan yang telah dicurahkan mendapatkan balasan yang berlipat ganda serta limpahan keberkahan dari Allah SWT.

Prediksi Eksoplanet di Zona Layak Huni Dalam Sistem Keplanetan Luar Tata Surya Menggunakan *Unsupervised Machine Learning*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan memprediksi eksoplanet yang berpotensi berada pada zona layak huni di luar tata surya dengan menggunakan metode *unsupervised machine learning*, khususnya teknik clustering *K-Means* dan *Hierarchical Clustering*. Data eksoplanet diolah berdasarkan berbagai parameter fisik planet dan karakteristik bintang induknya untuk mengelompokkan planet-planet yang memiliki kesamaan dengan Bumi, khususnya yang berada pada zona layak huni konservatif (CHZ) dan optimis (OHZ). Analisis *clustering* ini dilakukan untuk menemukan pola-pola yang dapat menunjang penentuan eksoplanet kandidat yang mungkin mendukung kehidupan. Evaluasi hasil *clustering* menggunakan metrik validasi internal mengindikasikan bahwa *Hierarchical Clustering* dengan average dan complete linkage memberikan hasil pengelompokan yang lebih optimal dibandingkan K-Means, meskipun kedua metode menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengelompokkan eksoplanet. Salah satu hasil menarik dari penelitian ini adalah identifikasi Kepler-1638 b sebagai kandidat eksoplanet yang memiliki kemiripan tinggi dengan Bumi dan berpotensi berada di zona layak huni. Penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi bidang astrobiologi dan pencarian kehidupan di luar tata surya dengan pendekatan machine learning, sekaligus menekankan pentingnya kelengkapan data serta penggunaan parameter tambahan untuk meningkatkan akurasi dan efektivitas prediksi eksoplanet di masa depan.

Kata Kunci : Eksoplanet, Zona Layak Huni, Kopparapu, *Unsupervised Machine Learning*, Clustering

*Prediction of Exoplanets in the Habitable Zone of Extrasolar Planetary Systems
Using Unsupervised Machine Learning*

ABSTRACT

This study aims to identify and predict exoplanets that potentially reside within the habitable zone outside our solar system using unsupervised machine learning methods, specifically clustering techniques such as K-Means and Hierarchical Clustering. Exoplanet data were analyzed based on various physical parameters of the planets and characteristics of their host stars to group planets that share similarities with Earth, particularly those located within the conservative (CHZ) and optimistic (OHZ) habitable zones. The clustering analysis was conducted to uncover patterns that support the identification of candidate exoplanets capable of supporting life. Internal validation metrics indicate that Hierarchical Clustering with average and complete linkage produces more optimal clustering results compared to K-Means, although both methods effectively group exoplanets. A significant finding of this research is the identification of Kepler-1638 b as a strong candidate exoplanet with high similarity to Earth and potential habitability. This study contributes valuable insights to astrobiology and the search for extraterrestrial life by employing machine learning approaches, while emphasizing the importance of data completeness and the inclusion of additional parameters to improve the accuracy and effectiveness of exoplanet predictions in future research.

Keywords: Exoplanet, Habitable Zone, Kopparapu, Unsupervised Machine Learning, Clustering

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Keplanetan Luar Tata Surya.....	5
2.2 Eksoplanet	7
2.3 Zona Layak Huni.....	10
2.3.1 Zona Layak Huni Konservatif (CHZ)	14

2.3.2 Zona Layak Huni Optimis (OHZ).....	14
2.4 <i>Unsupervised Machine Learning</i>	16
2.4.1 <i>K-Means</i>	18
2.4.2 <i>Hierarchical Clustering</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Sumber Data.....	26
3.2 Alat dan Perangkat	27
3.3 Alur Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil Prediksi Eksoplanet pada Zona Layak Huni.....	39
4.1.1 <i>Clustering</i> oleh <i>K-Means</i>	40
4.1.2 <i>Clustering</i> oleh <i>Hierarchical</i>	42
4.1.3 Prediksi Eksoplanet Layak Huni Mirip Bumi.....	43
4.1.4 Eksoplanet Paling Tidak Mirip Bumi	46
4.2 Analisis Variabel yang Mempengaruhi Prediksi.....	47
4.3 Evaluasi Kinerja Beragam Algoritma <i>Machine Learning</i>	51
4.3.1 Evaluasi Hasil <i>K-Means Clustering</i>	51
4.3.2 Evaluasi <i>Hasil Hierarchical Clustering</i>	53
4.3.3 Perbandingan kedua metode <i>Clustering</i>	55
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Implikasi.....	58
5.3 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Metode deteksi eksoplanet (Kaushik dkk., 2024)	8
Gambar 2. 2 Zona layak huni untuk berbagai jarak planet dari bintang induknya (SpaceRef, 2013).....	11
Gambar 2. 3 Diagram Zona Layak Huni (Selsis dkk., 2007).	13
Gambar 2. 4 Planet Zona Layak Huni yang Paling Eksentrik (Hall dkk., 2023)..	14
Gambar 2.5 Gugusan exoplanet pada zona layak huni dalam sistem keplanetan TRAPPIST diambil dari https://www.sciencealert.com/	15
Gambar 2. 6 <i>Clustering K-Means (2.3. Clustering — Scikit-Learn 1.6.1 Documentation, 2025)</i>	19
Gambar 2. 7 Ilustrasi plot dendrogram (<i>What Is a Dendrogram? Hierarchical Cluster Analysis, n.d.</i>)	21
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3. 2 Tampilan pengambilan elemen URL	30
Gambar 3. 3 Pengambilan elemen tipe planet pada tiap URL	32
 Gambar 4. 1 Tampilan diagram batang frekuensi exoplanet muncul satu kluster dengan bumi dari 312 simulasi	39
Gambar 4. 2 <i>Clustering</i> oleh <i>kmeans</i> dengan jumlah centroid 3 dan iterasi 17000	40
Gambar 4. 3 <i>Clustering</i> oleh <i>kmeans</i> dengan jumlah centroid 15 dan iterasi 12000	41
Gambar 4. 4 Perbandingan plot dendrogram pada nilai k yang sama di metode yang berbeda	43
Gambar 4. 5 <i>Heatmap</i> frekuensi eksoplanet terdekat dengan bumi.....	44
Gambar 4. 6 <i>Network graph</i> dari eksoplanet yang terdekat dengan bumi	45
Gambar 4. 7 <i>Network Graph</i> Eksoplanet Terjauh dari Bumi.....	47

Gambar 4. 8 Plot <i>Clustering</i> direduksi dari 10 variabel menjadi 2 sumbu	48
Gambar 4. 9 Kalkulasi <i>Habitable Zone</i> yang diambil dari https://www.exoplanetkyoto.org/exohtml/Kepler-1638_b.html	50

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Formula untuk <i>Handling Missing Value</i> pada Parameter Bintang Sumber: (1-3) (Boltzmann, 1884); (4-8) (Harris & Fripiat, 2009); (9) (Orbits and Kepler's Laws - NASA Science)	33
Tabel 3. 2 Persamaan untuk <i>Handling Missing value</i> pada Parameter Planet Sumber: (1-3) (Orbits and Kepler's Laws - NASA Science); (4) (Kaltenegger & Sasselov, 2011); (5-6) (Chen & Kipping, 2016); (7-9) (6.5 Newton's Universal Law of Gravitation - College Physics 2e OpenStax);	34
Tabel 3. 3 Parameter Bumi untuk <i>Clustering</i>	36
Tabel 3. 4 Representasi Numerik Tipe Planet.....	37
Tabel 4. 1 Perbandingan bumi dan Kepler-1638 b	49
Tabel 4. 2 Data temperature permukaan dari https://www.exoplanetkyoto.org/exohtml/Kepler-1638_b.html	50
Tabel 4. 3 Evaluasi diambil berdasarkan hasil simulasi dengan validasi terbaik dan terburuk.	51
Tabel 4. 4 Nilai Validasi <i>Hierarchical Clustering</i> pada beberapa simulasi terpilih	53
Tabel 4. 5 Perbandingan Nilai Validasi <i>K-Means</i> dan <i>Hierarchical Clustering</i> .	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>K-Means Clustering Code</i>	68
Lampiran 2. <i>Hierarchical Clustering Code</i>	70
Lampiran 3. <i>Analyze Code</i>	73
Lampiran 4. Tabel Simulasi	78
Lampiran 5. Tabel Validasi <i>K-Means Clustering</i>	85
Lampiran 6. Tabel Validasi <i>Hierarchical Clustering</i>	92

DAFTAR PUSTAKA

- 2.3. *Clustering — scikit-learn 1.6.1 documentation*. (2025). <https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html>
- 6.5 *Newton's Universal Law of Gravitation - College Physics 2e | OpenStax*. (n.d.). Retrieved August 11, 2025, from <https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/6-5-newtons-universal-law-of-gravitation>
- Aastha Gupta, Himanshu Sharma, & Anas Akhtar. (2021). A Comparative Analysis of K-Means and Hierarchical Clustering. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)*, 412–418. <https://doi.org/10.36713/EPRA8308>
- Arthur, D., & Vassilvitskii, S. (2006). Worst-case and smoothed analysis of the ICP algorithm, with an application to the k-means method. *Proceedings - Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, FOCS*, 153–164. <https://doi.org/10.1109/FOCS.2006.79>
- Baron, D. (2019). *Machine Learning in Astronomy: a practical overview*.
- Barrat, A., Barthelemy, M., Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2003). The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(11), 3747–3752. <https://doi.org/10.1073/pnas.0400087101>
- Basak, S., Agrawal, S., Saha, S., Theophilus, A. J., Bora, K., Deshpande, G., & Murthy, J. (2018). *Habitability Classification of Exoplanets: A Machine Learning Insight*. <http://arxiv.org/abs/1805.08810>
- Ben Ncir, C. E., Hamza, A., & Bouaguel, W. (2021). Parallel and scalable Dunn Index for the validation of big data clusters. *Parallel Computing*, 102. <https://doi.org/10.1016/J.PARCO.2021.102751>
- Boltzmann, L. (1884). Ableitung des Stefan'schen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der electromagnetischen Lichttheorie. *Annalen Der Physik*, 258(6), 291–294. <https://doi.org/10.1002/ANDP.18842580616;WGROU:STRING:PUBLICATIION>

Muhammad Azfa Az-Dzikri, 2025

PREDIKSI EKSOPLANET DI ZONA LAYAK HUNI DALAM SISTEM KEPLANETAN LUAR TATA SURYA MENGGUNAKAN UNSUPERVISED MACHINE LEARNING

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

- Cadieux, C., Doyon, R., MacDonald, R. J., Turbet, M., Artigau, É., Lim, O., Radica, M., Fauchez, T. J., Salhi, S., Dang, L., Albert, L., Coulombe, L.-P., Cowan, N. B., Lafrenière, D., L'Heureux, A., Piaulet, C., Benneke, B., Cloutier, R., Charnay, B., ... Valencia, D. (2024). *Transmission Spectroscopy of the Habitable Zone Exoplanet LHS 1140 b with JWST/NIRISS*. <http://arxiv.org/abs/2406.15136>
- Chamberland-Tremblay, J.-F. (2018). *AUTOMATIC CLASSIFICATION OF MICROLENSING CANDIDATES*.
- Chaudhry, M., Shafi, I., Mahnoor, M., Vargas, D. L. R., Thompson, E. B., & Ashraf, I. (2023). A Systematic Literature Review on Identifying Patterns Using Unsupervised Clustering Algorithms: A Data Mining Perspective. *Symmetry* 2023, Vol. 15, Page 1679, 15(9), 1679. <https://doi.org/10.3390/SYM15091679>
- Chen, J., & Kipping, D. (2016). Probabilistic Forecasting of the Masses and Radii of Other Worlds. *The Astrophysical Journal*, 834(1), 17. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/834/1/17>
- Clarke, A., Clarke, & Andrew. (2014). The thermal limits to life on Earth. *IJAsB*, 13(2), 141–154. <https://doi.org/10.1017/S1473550413000438>
- Duan, G., & Zou, C. (2024). A clustering effectiveness measurement model based on merging similar clusters. *PeerJ Computer Science*, 10, e1863. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1863/SUPP-2>
- ESA. (2019, September 1). *A history of astrometry - Part III Astrometry moves to space: the mapmakers guide to the Galaxy*. ESA.
- Exoplanet Catalog - NASA Science*. (n.d.). Retrieved August 12, 2025, from <https://science.nasa.gov/exoplanets/exoplanet-catalog/>
- Exoplanets - NASA Science*. (n.d.). Retrieved February 4, 2025, from <https://science.nasa.gov/exoplanets/>
- Extrasolar Planet's Catalogue produced by Kyoto University*. (n.d.). Retrieved August 12, 2025, from <https://www.exoplanetkyoto.org/>

- Fluke, C. J., & Jacobs, C. (2019). Surveying the reach and maturity of machine learning and artificial intelligence in astronomy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(2). <https://doi.org/10.1002/widm.1349>
- Fotopoulou, S. (2024). A review of unsupervised learning in astronomy. *Astronomy and Computing*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.ascom.2024.100851>
- Gillon, M., M J Triaud, A. H., Demory, B.-O., Jehin, E., Agol, E., Deck, K. M., Lederer, S. M., de Wit, J., Burdanov, A., Ingalls, J. G., Bolmont, E., Leconte, J., Raymond, S. N., Selsis, F., Turbet, M., Barkaoui, K., Burgasser, A., Burleigh, M. R., Carey, S. J., ... Queloz, D. (2017). *Seven temperate terrestrial planets around the nearby ultracool dwarf star TRAPPIST-1*.
- G.Thilagavathi, D.Srivaishnavi, & N.Aparna. (2013). A Survey on Efficient Hierarchical Algorithm used in Clustering. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(9). <https://doi.org/10.17577/IJERTV2IS90943>
- Hall, C., Stancil, P. C., Terry, J. P., & Ellison, C. K. (2023). *A New Definition of Exoplanet Habitability: Introducing the Photosynthetic Habitable Zone*. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/acccfb>
- Harris, F. E., & Fripiat, J. G. (2009). Methods for incomplete bessel function evaluation. *International Journal of Quantum Chemistry*, 109(8), 1728–1740. <https://doi.org/10.1002/QUA.21972>
- Hasanah, N. L., Ningrum, A. A., & Kamarudin, K. (2025). Penerapan K-Means Clustering Menentukan Lokasi Promosi Penerimaan Mahasiswa Baru Universitas Muhammadiyah Banjarmasin. *JATISI (Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi)*, 12(2). <https://doi.org/10.35957/JATISI.V12I2.11488>
- Hill, M. L., Bott, K., Dalba, P. A., Fetherolf, T., Kane, S. R., Kopparapu, R., Li, Z., & Ostberg, C. (2022). *A Catalog of Habitable Zone Exoplanets*. <http://arxiv.org/abs/2210.02484>

- Hora, K. (2018a). Classifying exoplanets as potentially habitable using machine learning. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 653, 203–212. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6602-3_20
- Hora, K. (2018b). Classifying exoplanets as potentially habitable using machine learning. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 653, 203–212. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6602-3_20
- Ira Yustika, S., Aria Utama, J., Arifin, M., Rusdiana, D., Pendidikan Fisika, D., & Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. (2021). KARAKTERISTIK EKSOPLANET LAIK HUNI DI SISTEM MULTIPLANET. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika* (Vol. 7, Issue 0).
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666. <https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2009.09.011>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., & Taylor, J. (2023). *Unsupervised Learning*. 503–556. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38747-0_12
- Kaltenegger, L., & Sasselov, D. (2011). Exploring the Habitable Zone for Kepler Planetary Candidates. *The Astrophysical Journal Letters*, 736(2), L25. <https://doi.org/10.1088/2041-8205/736/2/L25>
- Kasting, J. F. (1993). Habitable zones around main sequence stars. *Icarus*, 108–128.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding Groups in Data - Wiley Series on Probability and Mathematical Statistics*. Chapters 2 & 3.
- Kaushik, M., Mattoo, A., & Rastogi, R. (2024). *Exoplanet Detection : A Detailed Analysis*. <http://arxiv.org/abs/2404.09143>
- Kong, Z., Jiang, J. H., Burn, R., Fahy, K. A., & Zhu, Z.-H. (2022). Analyzing the Habitable Zones of Circumbinary Planets Using Machine Learning. *The Astrophysical Journal*, 929(2), 187. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac5c5a>
- Kopparapu, R. K., Ramirez, R., Kasting, J. F., Eymet, V., Robinson, T. D., Mahadevan, S., Terrien, R. C., Domagal-Goldman, S., Meadows, V., & Deshpande, R. (2013a). Habitable zones around main-sequence stars: New

Muhammad Azfa Az-Dzikri, 2025

PREDIKSI EKSOPLANET DI ZONA LAYAK HUNI DALAM SISTEM KEPLANETAN LUAR TATA SURYA MENGGUNAKAN UNSUPERVISED MACHINE LEARNING

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

- estimates. *Astrophysical Journal*, 765(2). <https://doi.org/10.1088/0004-637X/765/2/131>
- Kopparapu, R. K., Ramirez, R., Kasting, J. F., Eymet, V., Robinson, T. D., Mahadevan, S., Terrien, R. C., Domagal-Goldman, S., Meadows, V., & Deshpande, R. (2013b). Habitable zones around main-sequence stars: New estimates. *Astrophysical Journal*, 765(2). <https://doi.org/10.1088/0004-637X/765/2/131>
- Kopparapu, R. K., Ramirez, R. M., Schottelkotte, J., Kasting, J. F., Domagal-Goldman, S., & Eymet, V. (2014). Habitable zones around main-sequence stars: Dependence on planetary mass. *Astrophysical Journal Letters*, 787(2). <https://doi.org/10.1088/2041-8205/787/2/L29>
- Lloyd, S. P. (1982). Least Squares Quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory*, 28(2), 129–137. <https://doi.org/10.1109/TIT.1982.1056489>
- Marchi, S. (2007). Extrasolar Planet Taxonomy: A New Statistical Approach. *The Astrophysical Journal*, 666(1), 475–485. <https://doi.org/10.1086/519760/FULLTEXT/>
- Matchev, K. T., Matcheva, K., & Roman, A. (2022). Unsupervised Machine Learning for Exploratory Data Analysis of Exoplanet Transmission Spectra. *The Planetary Science Journal*, 3(9), 205. <https://doi.org/10.3847/PSJ/AC880B>
- Meila, M., & Heckerman, D. (2013). *An Experimental Comparison of Several Clustering and Initialization Methods*. <https://arxiv.org/pdf/1301.7401>
- Mishra, L., Alibert, Y., Udry, S., & Mordasini, C. (2023). A framework for the architecture of exoplanetary systems. I. Four classes of planetary system architecture. *Astronomy and Astrophysics*, 670. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202243751>
- Murtagh, F., & Legendre, P. (2014). Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? *Journal of*

- Classification*, 31(3), 274–295. <https://doi.org/10.1007/S00357-014-9161-Z/METRICS>
- NASA Exoplanet Archive*. (n.d.). Retrieved August 12, 2025, from <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html>
- Nielsen, F. (2016). *Hierarchical Clustering*. 195–211. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21903-5_8
- Orbits and Kepler's Laws - NASA Science*. (2023, September 4). <https://science.nasa.gov/resource/orbits-and-keplers-laws/>
- Principal Component Analysis*. (2002). <https://doi.org/10.1007/B98835>
- Raminaidu, C., Priyadarshini, V., Swaroop, C. R., & Shankar, R. S. (2023). Building Accurate Machine Learning Models for Predicting the Habitability of Exo-Planets. *Proceedings - 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2023*, 961–967. <https://doi.org/10.1109/ICSSIT55814.2023.10061122>
- Rektsini, N. E., & Batista, V. (2024). *Finding planets via gravitational microlensing*. <http://arxiv.org/abs/2407.06689>
- Rogers, J. G., Dorn, C., Raj, V. A., Schlichting, H. E., & Young, E. D. (2025). Most Super-Earths Have Less Than 3% Water. *The Astrophysical Journal*, 979(1), 79. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/AD9F61>
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20(C), 53–65. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
- Sangaiah, A. K., Javadpour, A., Ja'fari, F., Zhang, W., & Khaniabadi, S. M. (2023). Hierarchical Clustering Based on Dendrogram in Sustainable Transportation Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(12), 15724–15739. <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3222789>
- Seager, S. (2013). Exoplanet habitability. *Science*, 340(6132), 577–581. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1232226/SUPPL_FILE/577.MP3
- Seager, S., & Deming, D. (2010). Exoplanet atmospheres. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 48(Volume 48, 2010), 631–672.

Muhammad Azfa Az-Dzikri, 2025

PREDIKSI EKSOPLANET DI ZONA LAYAK HUNI DALAM SISTEM KEPLANETAN LUAR TATA SURYA MENGGUNAKAN UNSUPERVISED MACHINE LEARNING

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

<https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ASTRO-081309-130837/CITE/REFWORKS>

- Selsis, F., Kasting, F., Levrard, B., Paillet, J., Ribas, I., & Delfosse, X. (2007). Habitable planets around the star Gliese 581? *Astronomy and Astrophysics*, 476(3), 1373–1387. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20078091>
- Shallue, C. J., & Vanderburg, A. (2017). Identifying Exoplanets with Deep Learning: A Five Planet Resonant Chain around Kepler-80 and an Eighth Planet around Kepler-90. *The Astronomical Journal*, 155(2), 94. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aa9e09>
- Shields, A. L., Ballard, S., & Johnson, J. A. (2016). The habitability of planets orbiting M-dwarf stars. *Physics Reports*, 663, 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2016.10.003>
- Solar System Temperatures - NASA Science*. (2023, September 4). <https://science.nasa.gov/resource/solar-system-temperatures/>
- SpaceRef. (2013, January 31). *Determining Whether Extrasolar Planets Lie in the Habitable Zone*.
- What is a Dendrogram? Hierarchical Cluster Analysis*. (n.d.). Retrieved August 8, 2025, from <https://www.displayr.com/what-is-dendrogram/>
- Wilkinson, L., & Friendly, M. (2009). History corner the history of the cluster heat map. *American Statistician*, 63(2), 179–184. <https://doi.org/10.1198/TAS.2009.0033>
- Winn, J. N., & Fabrycky, D. C. (2015). The occurrence and architecture of exoplanetary systems. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 53(1), 409–447. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ASTRO-082214-122246/CITE/REFWORKS>
- Yu, H., & Hou, X. (2022). Hierarchical clustering in astronomy. *Astronomy and Computing*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.ascom.2022.100662>
- Zink, J. K., Christiansen, J. L., & Hansen, B. M. S. (2019). Accounting for incompleteness due to transit multiplicity in Kepler planet occurrence rates.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 483(4), 4479–4494.
<https://doi.org/10.1093/MNRAS/STY3463>