Segmentasi Otomatis Citra Visual Bintik Matahari Berbasis Deep Learning untuk Penentuan Morfologi dalam Klasifikasi McIntosh

FMIPA PPMI 2026

Dhani Herdiwijaya[1], Dwi Irwanto[1],,Budi Dermawan[1], Endang Soegiartini[1], Kiki Vierdayanti[1], Luthfi Naufal[1], Rasdewita Kesumaningrum[1], Dhea Syiva Putri Iwata[1], Firshanda Alvyanita[1], Dzaky Pandyawikrama Utomo[1], Dhimaz Gilang Ramadhan[1], Christoforus Dimas Satrya[2]

[1] Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

[2] Department of Microtechnology and Nanoscience, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

Abstract

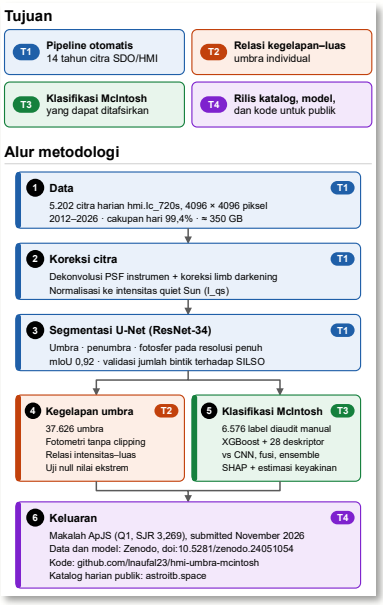
Penelitian ini mengembangkan metode otomasi berbasis deep learning untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kelompok bintik matahari (sunspot group) menggunakan citra resolusi tinggi dari satelit SDO (2009–2024). Segmentasi dilakukan dengan arsitektur DeepLabV3 termodifikasi yang menambahkan fitur peta gradien intensitas piksel untuk menggantikan metode thresholding konvensional, guna memisahkan kelas umbra, penumbra, dan latar belakang (fotosfer).Hasil segmentasi kemudian diklasifikasikan berdasarkan skema morfologi McIntosh menggunakan deep learning dan XGBoost, didahului pembersihan serta koreksi label ground truth (komponen Zurich, kelas penumbra, dan kompaksi) agar lebih konsisten secara fisik. Seluruh proses dijalankan pada GPU dan HPC serta dievaluasi menggunakan akurasi piksel, Intersection over Union (IoU), dan skor klasifikasi McIntosh, dengan target meningkatkan efektivitas pemantauan aktivitas Matahari, riset fisika Matahari, dan prediksi cuaca antariksa.

Keyword: sunspot group, Solar Dynamics Observatory, Deep learning.

Introduction

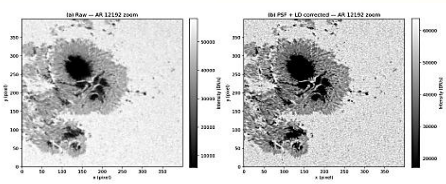
Daerah aktif Matahari merupakan sumber utama flare dan peristiwa cuaca antariksa. Dua besaran morfologi, yaitu kegelapan umbra (pelacak kuat medan magnet) dan kelas McIntosh (masukan peramalan flare), selama ini dikaji secara terpisah. Kajian sebelumnya umumnya menggunakan rentang data yang pendek, citra yang belum dikoreksi hamburan cahaya, dan segmentasi umbra–penumbra yang masih memerlukan intervensi manual. Label McIntosh di katalog NOAA juga belum pernah diaudit secara sistematis.

Research Method

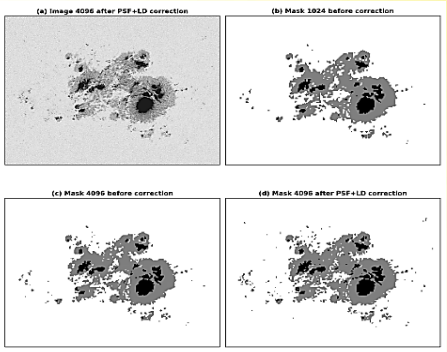


Discussion & Result

Koreksi PSF & metode baru segmentasi mengungkap struktur halus bintik

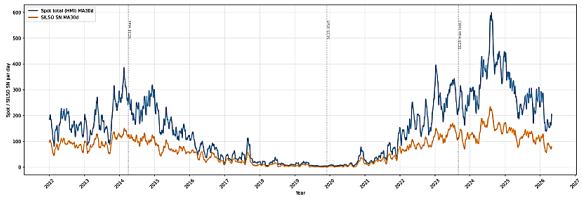


AR 12192 sebelum dan sesudah koreksi

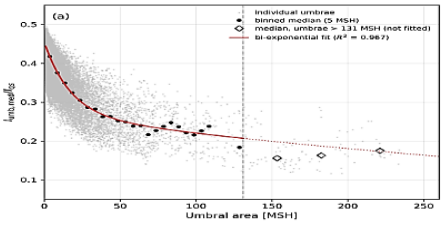


Setelah koreksi PSF dan limb darkening, filamen penumbra, jembatan cahaya, dan pori-pori kecil terlihat terpisah dengan jelas. U-Net mencapai mIoU 0,92 (umbra 0,90; penumbra 0,87).

Jumlah bintik hasil segmentasi mengikuti siklus Matahari



Deret HMI mengikuti SILSO melewati maksimum Siklus 24, minimum 2018–2020, dan kenaikan Siklus 25 (r = 0,91 harian; r = 0,98 untuk rata-rata 27 hari).



Median intensitas turun dari 0,43 I_qs (1 MSH) ke 0,24 I_qs (50–131 MSH) dan 0,17 I_qs (> 131 MSH), dengan skala peluruhan 14–26 MSH. Pada luas tetap, nilainya konstan selama 2012–2026 (dalam 0,002 I_qs per dekade).

Model	Akurasi Zpc (35 kelas)	Z	p	c
XGBoost + 28 deskriptor geometris (utama)	0,567	0,765	0,788	0,764
Ensemble (utama + fusi CNN)	0,570	0,770	0,795	0,778
CNN saja (ResNet18)	0,508	0,722	0,764	0,741

Model utama dalam klasifikasi McIntosh lebih akurat daripada CNN secara signifikan

Conclusion

Satu pipeline otomatis mengukur kegelapan umbra dan mengklasifikasikan daerah aktif secara konsisten selama 14 tahun data SDO/HMI.

1. Segmentasi stabil tanpa ambang manual: mIoU 0,92 dan selaras dengan SILSO (r = 0,98).
2. Umbra besar lebih gelap: 0,43 → 0,17 I_qs, tanpa batas jenuh dan tanpa tren sekuler.
3. Klasifikasi McIntosh yang dapat ditafsirkan: lebih akurat daripada CNN (0,567 vs 0,508).
4. Terbuka dan operasional: data, model, dan kode dirilis; katalog harian di astroitb.space.

Ringkasan data, hasil dan diseminasi

- 14 tahun · 5.202 citra harian SDO/HMI
- 37.626 umbra terukur
- 6.576 label McIntosh diaudit manual
- Katalog harian publik di astroitb.space

- Submitted (14 November 2026): *Astrophysical Journal Supplement Series* (Q1, SJR: 3.269)
- Published (21 Oktober 2026): *Astrophysics and Space Science* (Q2, SJR: 0.537), https://doi.org/10.1086/431751
- Open access data: Katalog 37.626 umbra, katalog 6.576 daerah aktif dengan label McIntosh hasil audit dan 28 deskriptor: Zenodo, doi:10.5281/zenodo.24051054 3
- Open access program pipeline: Kode koreksi PSF+LD, segmentasi U-Net, ekstraksi deskriptor, dan klasifikasi, beserta bobot model: github.com/lnaufal23/hmi-umbra-mcintosh