Studi Atenuasi Debu Alam Semesta

PPMI FMIPA ITB 2026

Lucky Puspitarini [1], Itsna K. Fitriana [1], Dian P. Triani [4], Anton T. Jaelani [1], Karina Z. Hasnaningtyas [2], Karyssa T. Agusta [2], Novan Saputra Haryana[5], Abdurrouf[6], Aprilia[1], Taufiq Hidayat[1], Hesti Retno Tri Wulandari[1], Fargiza A. M. M.[1], Abu A'la An Nadwi[3], Novi Sofwan[3], Eugene Timoty[2], Ryo Albert Sutanto[5], Muhammad Nur Ihsan Effendi[3]

[1] Astronomy Research Group, Bosscha Observatory, FMIPA ITB [2]Undergraduate Program in Astronomy ITB, [3]Graduate Program in Astronomy ITB, [4]Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian, [5]Astronomical Institute Tohoku University, [6]Department of Astronomy, Indiana University

Abstrak

Pengamatan JWST menunjukkan bahwa galaksi di alam semesta dini sudah mengandung debu dalam jumlah signifikan. Debu menyerap dan menghamburkan cahaya (atenuasi) sehingga memengaruhi estimasi laju pembentukan bintang (SFR).

Riset ini mempelajari evolusi atenuasi debu pada galaksi pembentuk bintang di $1 < z < 7$ dari data spektroskopi JADES DR4 dan fotometri DR5. Atenuasi nebular diturunkan dari *Balmer Decrement* (Hα/Hβ), sedangkan atenuasi kontinum bintang dari SED *fitting*.

Evolusi redshift paling jelas muncul pada relasi $E(B-V)$–$SFR_{Hα}$: korelasinya menguat dari $ρ = 0{,}34$ ($1 ≤ z < 3$) menjadi 0,59 ($z ≥ 5$). Studi pendamping menyusun galaksi di $3 < z < 7$ untuk relasi massa–metalisitas–SFR (MZR/FMR). Luaran riset meliputi artikel Haryana et al. (2026) dan presentasi di konferensi internasional ICMNS dan ICSSTI.

Keyword: debu, galaksi, JWST

Pendahuluan

James Webb Space Telescope (JWST) membuka era baru studi galaksi awal. Galaksi pada $z ≈ 8$–10 tampak lebih terang dan melimpah daripada prediksi model kosmologis standar.

Debu kosmik—dari angin bintang AGB dan supernova—menyerap dan menghamburkan cahaya UV; pada skala galaksi efek ini disebut atenuasi. Model dua komponen Charlot & Fall (2000) membedakan atenuasi nebular (awan kelahiran bintang) dan atenuasi kontinum bintang (debu difus).

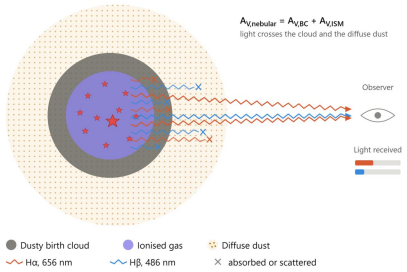
JWST juga menemukan atenuasi signifikan di $z = 6{,}71$ dan reservoir debu besar di $z ~ 6$, sehingga pengayaan debu terjadi dalam ~0,5 miliar tahun belum terjelaskan model teoretis. Debu terbentuk dari elemen berat, sehingga atenuasi berkaitan erat dengan metalisitas gas yang diatur oleh siklus baryon (*inflow* dan *outflow*). Studi ini berusaha menjelaskan bagaimana karakteristik atenuasi debu galaksi, dan sejauh mana pemodelan kita mampu mampu mereproduksinya.

Tujuan riset:

1. Meninjau evolusi atenuasi nebular dan kontinum bintang terhadap redshift.
2. Menentukan hukum atenuasi galaksi pada berbagai *redshift*.
3. Menentukan relasi *massa–metalisitas* (MZR) dan FMR pada $3 < z < 7$.

Metode

Riset berangkat dari kolaborasi project-based learning Prodi Astronomi ITB dengan Harvard–Smithsonian. Data utama: JWST Advanced Deep Extragalactic Survey (JADES)—spektroskopi NIRSpec DR4 dan fotometri DR5.



Gambar 1. Model debu dua komponen (Charlot & Fall 2000).

Seleksi sampel

Dari 5.190 target galaksi DR4 → 1.708 galaksi ($1 ≤ z ≤ 7$, lolos S/N) → 1.474 galaksi pembentuk bintang (Eliminasi AGN dengan diagram BPT) → 443 galaksi ter-cross-match dengan CIGALE → 307 galaksi dengan *Balmer Decrement* valid.

Atenuasi nebular

$E(B-V)_{neb}$ dari *Balmer Decrement* Hα/Hβ dengan kurva Calzetti (2000); $SFR_{Hα}$ dikoreksi debu.

Atenuasi bintang

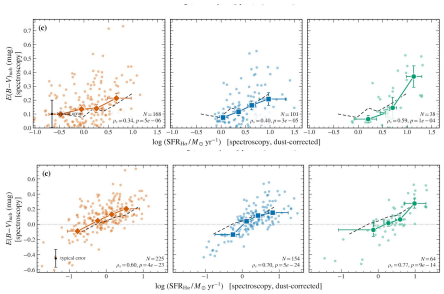
$E(B-V)_{star}$, M_*, dan $SFR_{10\ Myr}$ dari SED *fitting* CIGALE.

Analisis

Relasi $E(B-V)$ dengan M_* dan SFR diukur dengan korelasi Spearman pada tiga bin redshift ($1 ≤ z < 3$, $3 ≤ z < 5$, $z ≥ 5$).

Metalisitas (MZR/FMR)

Fluks garis JADES DR4 di-cross-match dengan katalog photo-z DJA (M_*, SFR). Setelah eksklusi AGN dan koreksi *reddening*, metalisitas 12+log(O/H) dihitung dengan kalibrasi *strong-line* R23 (Sanders et al. 2024).



Gambar 2. $E(B-V)_{neb}$ terhadap $SFR_{Hα}$ untuk sampel $E(B-V) > 0$ (atas, N = 307) dan seluruh galaksi (bawah, N = 443); kiri ke kanan: $1 ≤ z < 3$, $3 ≤ z < 5$, $z ≥ 5$ (Hasnaningtyas dkk 2026)

Hasil dan Diskusi

Diagram BPT menunjukkan bahwa sampel didominasi galaksi pembentuk bintang murni, sehingga hukum Calzetti dapat diterapkan secara seragam. Terhadap massa bintang, $E(B-V)$ nebular naik tajam setelah massa transisi, sedangkan $E(B-V)$ bintang naik dengan laju relatif konstan. Evolusi *redshift* paling jelas terlihat pada relasi dengan SFR_Hα: korelasinya menguat dari $ρ = 0{,}34$ ke 0,59 untuk sampel $E(B-V) > 0$ dan dari 0,60 ke 0,77 untuk seluruh galaksi, dengan kenaikan $E(B-V)$ yang tajam di $z ≥ 5$ (lihat Gambar 2). Terhadap SFR_10 Myr, atenuasi nebular dan bintang mengikuti jalur evolusi yang serupa, sementara perbandingan keduanya menghasilkan $R ≈ 0{,}44$ dengan ketergantungan pada sSFR yang berlawanan dengan Price et al. (2014). Galaksi dengan Hα/Hβ di bawah nilai intrinsik dikeluarkan dari analisis; kondisi ini diduga akibat nebula *density-bounded*, swa-serapan Balmer, atau S/N rendah.

Untuk studi metalisitas, seleksi grating R1000 dengan S/N > 3–5 menghasilkan 432 galaksi dengan [OIII], [OII], Hβ, dan Hα ($z = 3{,}02$–$7{,}26$). Sampel ini menjadi dasar analisis MZR dan FMR sekaligus menyediakan metalisitas sebagai parameter ketiga bagi relasi atenuasi

Pada galaksi termasif (JWST + Chandra), massa bintang 1 kpc pusat naik ~0,60 dex dalam ~400 juta tahun di $z ~ 4$; 63 ± 12% AGN sinar-X berada di galaksi yang terkompaksi, lalu sSFR pusat turun ~1,24 dex—awal *quenching* dari dalam ke luar. Pemisahan kontribusi AGN ini relevan bagi estimasi atenuasi. (Haryana et al. 2026).

Kesimpulan

1. Telah diperoleh katalog atenuasi 307 galaksi JADES ($1 < z < 7$) siap menjadi dasar uji pemodelan DUSTY SAGE.
2. Tidak semua relasi $E(B-V)$ berevolusi terhadap *redshift*; evolusi paling jelas ada pada relasi $E(B-V)$–SFR.
3. Analisis MZR dan FMR dari 432 sampel galaksi ($3 < z < 7$).
4. Kompaksi pusat galaksi termasif di $z ~ 4$ beriringan dengan pertumbuhan lubang hitam dan mengawali *quenching* (Haryana et al. 2026).

Luaran riset

- Artikel Jurnal Q1: Haryana, N. S., et al. (2026). *Interplay of Compaction, Quenching, and Black Hole Growth in the Most Massive Galaxies since z~5*. Lihat https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ae9f49
- Presentasi ICMNS & ICSSTI oleh Hasnaningtyas, K. Z., et al. *Characteristics and Evolution of Dust Attenuation in Star-Forming Galaxies at 1 < z < 7 in the JADES Survey*.

Rencana lanjutan

Menggabungkan metalisitas dengan relasi atenuasi dan mengalibrasi pemodelan debu.