



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

# Topik Riset: Aspek-Aspek Kosmologis Pada Teori Gravitasi $F(R)$

Dr. Romy Hanang Setya Budhi  
(WA: 085778921821)

KBK Fisika Teoretik dan Fisika Komputasi  
Webinar Penawaran Topik Riset  
Departemen Fisika: 19-20 Maret 2022



# Apa itu kosmologi?

- Studi mengenai asal usul dan evolusi jagad raya
- Memberlakukan semesta sebagai satu sistem keseluruhan. Elemen-elemen terkecil? Galaksi, kluster galaksi.
- Tujuan, memahami tentang:
  - ✓ its origin
  - ✓ its structure and composition (where do galaxies, stars, planets, people come from?)
  - ✓ its evolution
  - ✓ its fate

## Groups and clusters



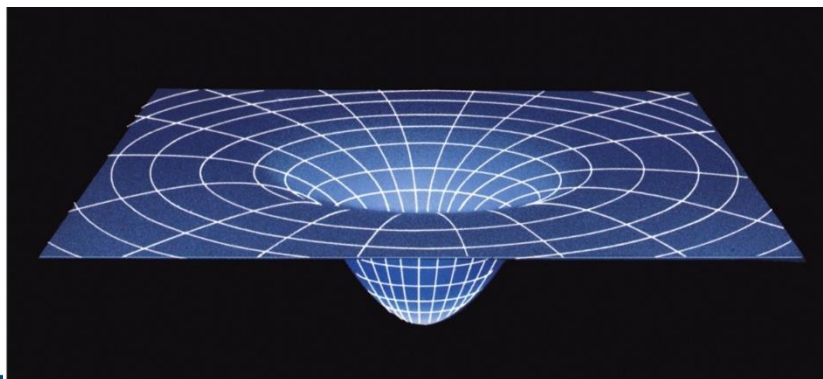


# Dengan apa kita memahami Jagad raya?

## RELATIVITAS UMUM:

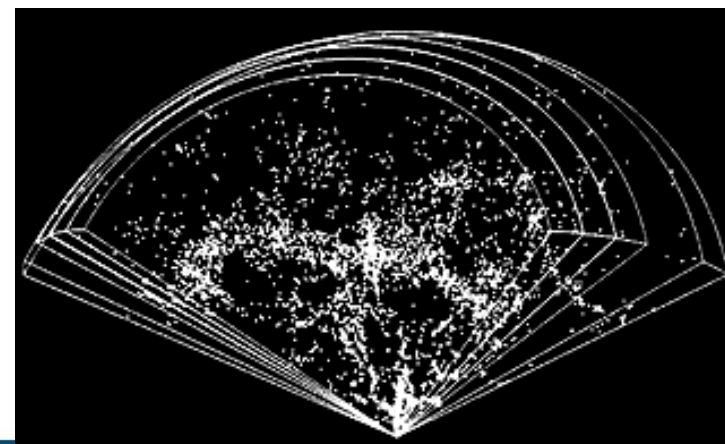
Gravitasi merupakan manifestasi kelengkungan ruang-waktu sebagai akibat keberadaan massa dan energi

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}$$



## PRINSIP KOSMOLOGI:

Materi di jagad raya terdistribusi merata ke semua arah dan tempat (homogen dan isotropik), JIKA DILIHAT PADA SKALA YANG CUKUP LUAS (>100 Mpc).







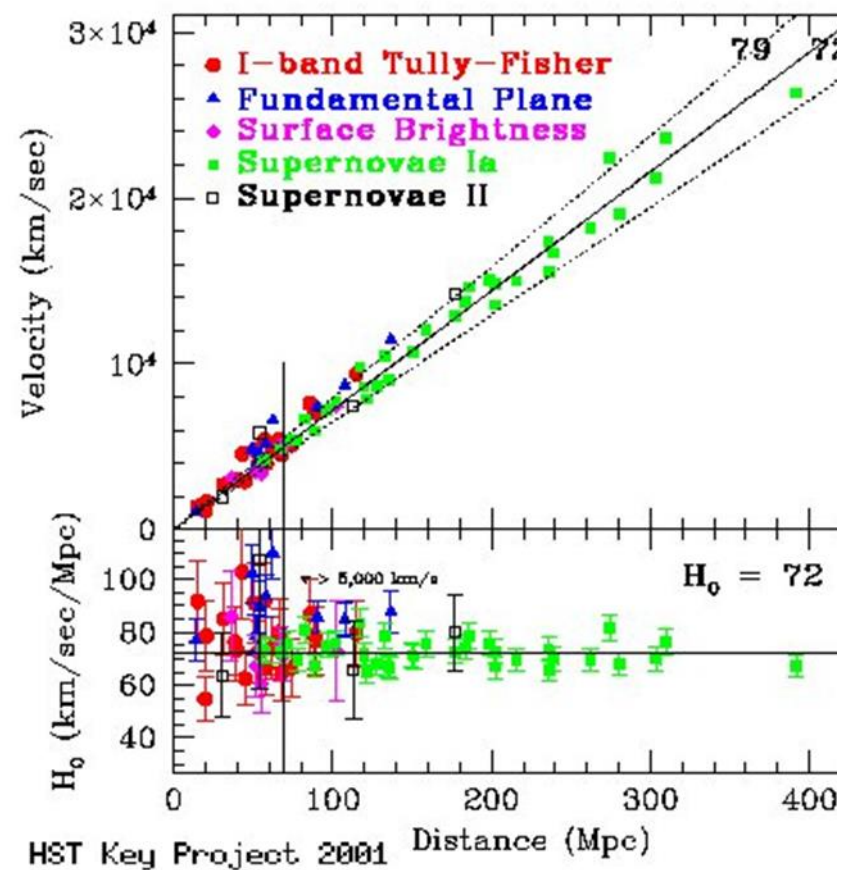
# Dengan apa kita memahami Jagad raya?

## HUBBLE'S LAW:

Semua galaksi yang jauh terlihat menjauh (mengalami redshift). Semesta raya berekspansi, setiap titik saling menjauh satu dengan yang lain.

## KESIMPULAN: BIG-BANG TEORY

"If all the galaxies are now rushing away from each other, presumably they must have been closer in the past, when all objects were concentrated at one point of infinite density". Lemaître 1927, "primeval atom."





# $\Lambda$ CDM : model kosmologi dengan dark matter dan dark energy

Model jagad raya yang realistis mungkin mengandung suku densitas energy dari kelengkungan spasial yang tidak bisa diabaikan, cosmological constant, materi dan radiasi

$$H^2 \equiv \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi}{3}G(\rho_M + \rho_{rad} + \rho_\Lambda + \rho_{curv}),$$

$$\Omega_M = \frac{\rho_{M,0}}{\rho_c}, \quad \Omega_{rad} = \frac{\rho_{rad,0}}{\rho_c}, \quad \Omega_\Lambda = \frac{\rho_{\Lambda,0}}{\rho_c}, \quad \Omega_{curv} = \frac{\rho_{curv,0}}{\rho_c}.$$

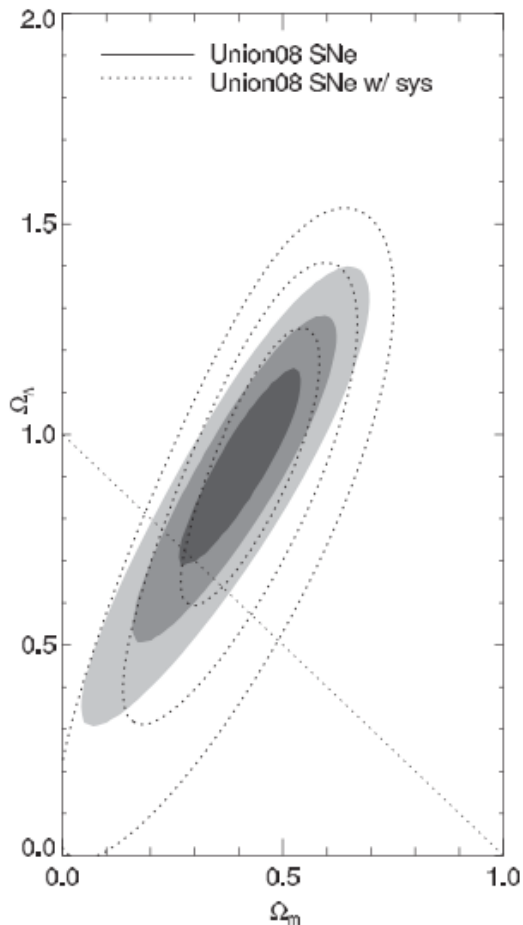
$$\sum_i \Omega_i \equiv \Omega_M + \Omega_{rad} + \Omega_\Lambda + \Omega_{curv} = 1.$$

Kontribusinya kecil sekarang:  
matter domination,  
homogeneity of CMB



$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi}{3}G\rho_c \left[ \Omega_M \left(\frac{a_0}{a}\right)^3 + \cancel{\Omega_{rad}} \left(\frac{a_0}{a}\right)^4 + \Omega_\Lambda + \cancel{\Omega_{curv}} \left(\frac{a_0}{a}\right)^2 \right]$$

Kandidat?

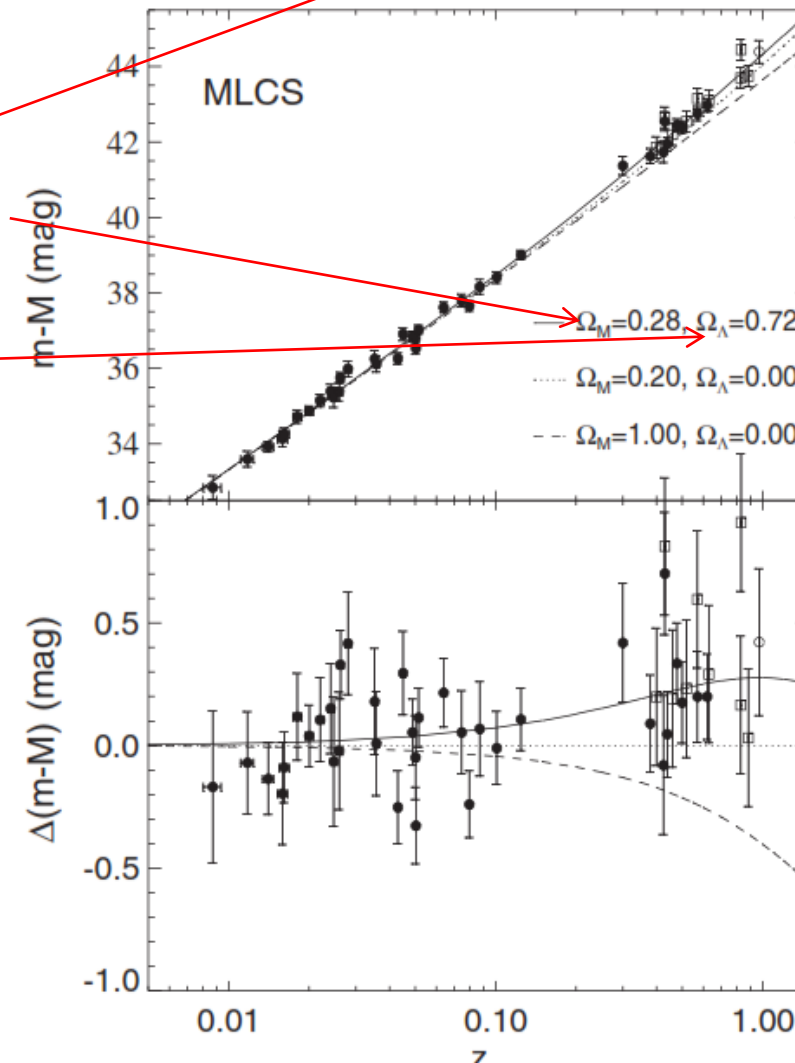


Baryon (bintang dan materi tampak) hanya menyumbang 2% dari total mass

Sebagian besar adalah materi yang tidak diketahui (dark matter)

Baryon + DM

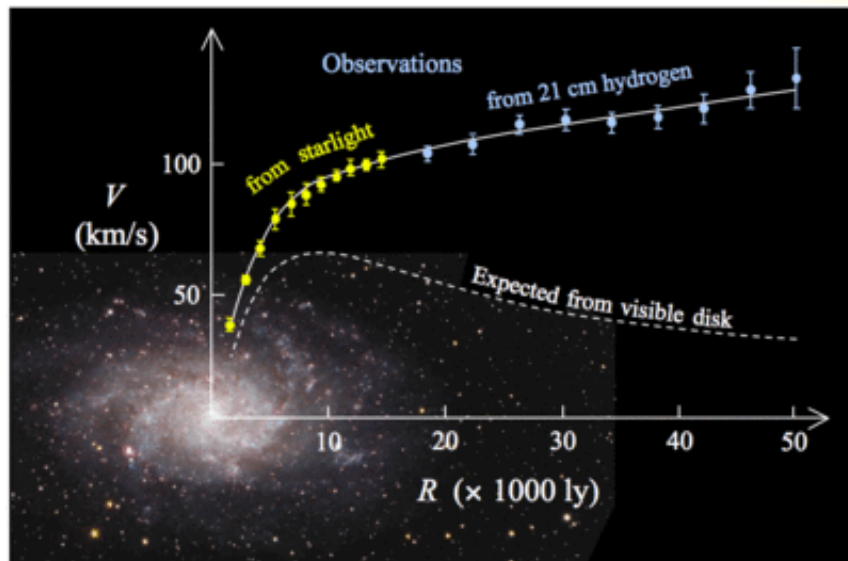
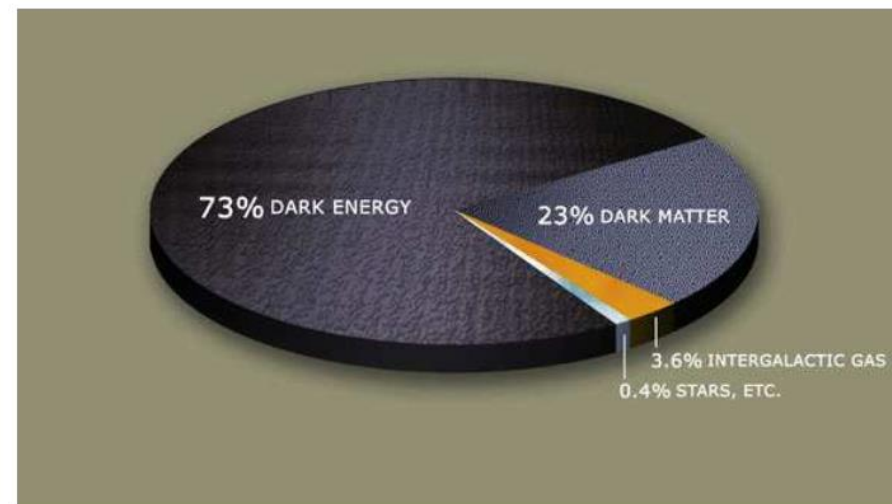
Dark energy



Apparent mag vs z  
Type Ia  
Supernovas



## Cosmic Pie



Rotation curves of galaxies

$$v^2 = \frac{GM(r)}{r^2}$$

Vera Rubin: " with an increasing distance to the galactic center the, velocity of the orbiting gas and dust remained constant until the visible edge of the galaxy.

Ada massa tambahan pada galaksi, tapi tak terlihat -> dark matter halo

Sifat-sifat dominan Dark Matter:

: Uncharge, stable, weakly interacts with other particle, massive.

Candidates:

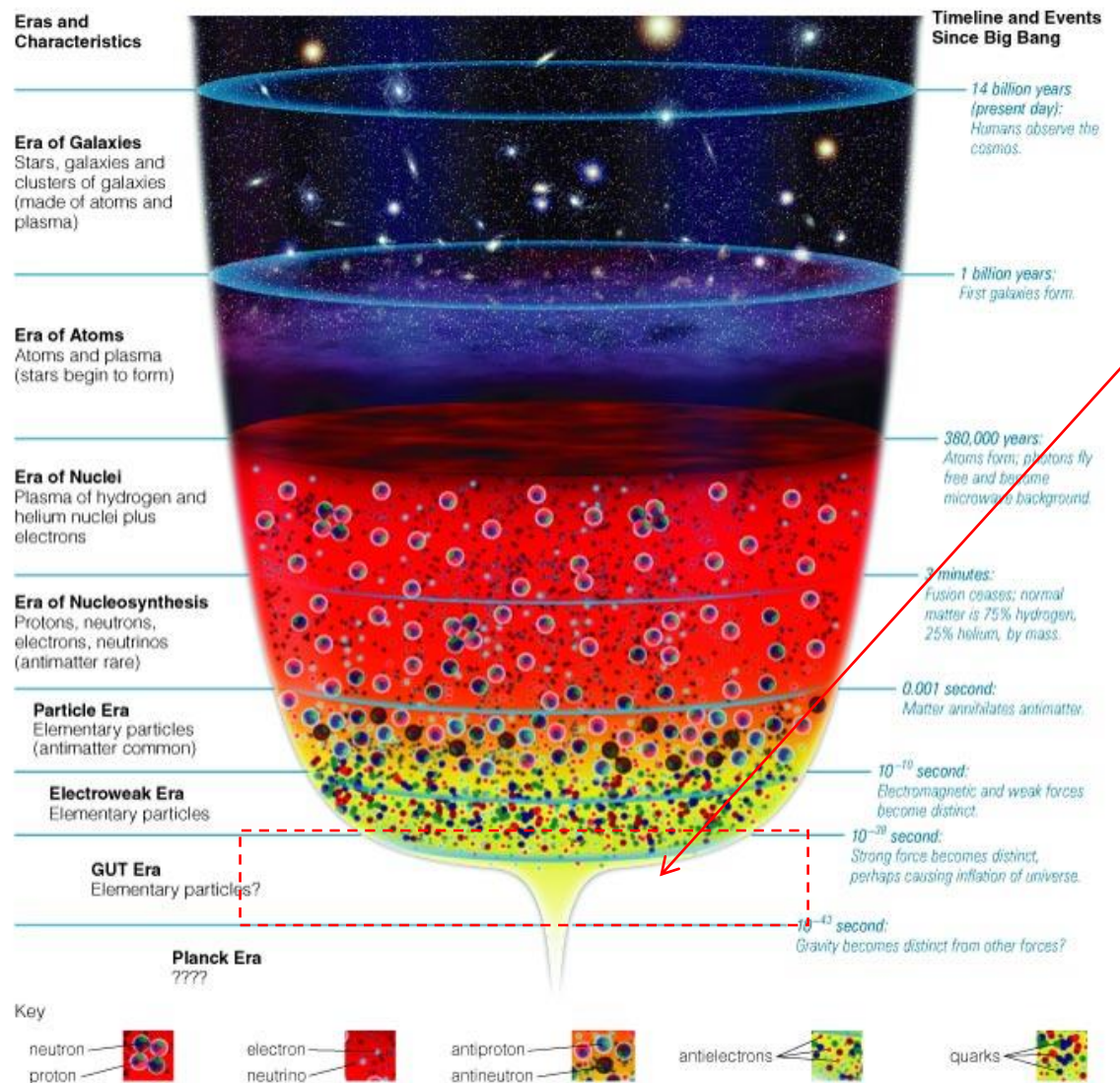
- WIMP (weakly interaction massive particle, masses 10 GeV to TeV):
- Machos (massiv compact halo objects): Black holes, neutron stars, brown and white dwarfs -> berada pada halo galaksi, hanya mengemisi sedikit radiasi
- Neutrino.



# Thermal history of the universe

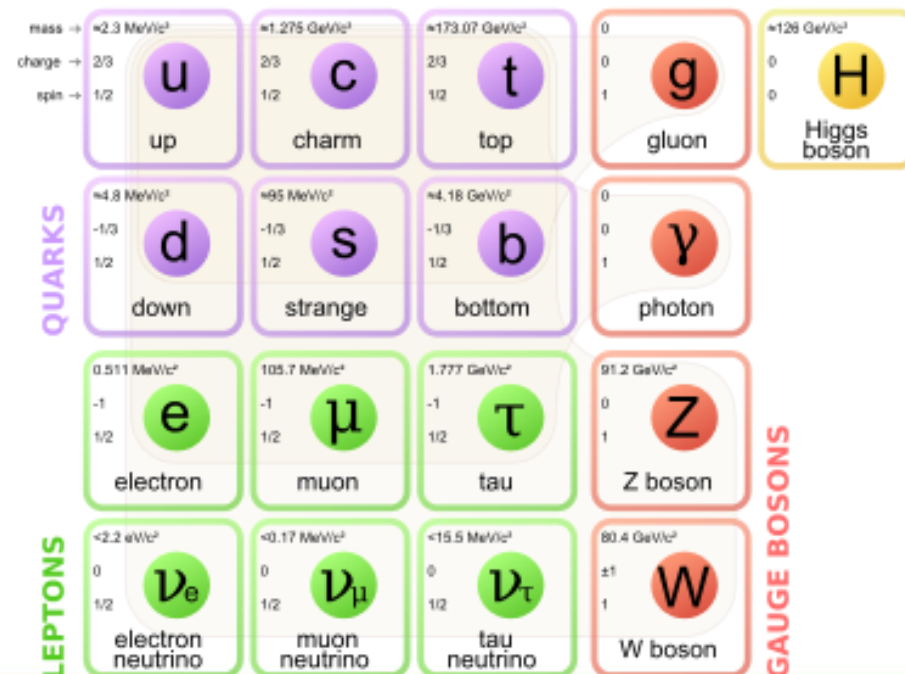


UNIVERSITAS  
GADJAH MADA



Fase inflasi: fase akselerasi, scale factor berlipat hingga  $\exp(50-60)$  kali lipat.  
Diperlukan untuk memecahkan horizon problem, initial condition, umur jagad raya dll.

Masih menyimpan teka-teki !!







# (masih) Misteri seputar kosmologi

- Asal dan masa depan Jagadraya
  - ✓ Bagaimana kondisi keberadaannya muncul?
  - ✓ Kemanakah masa depan Jagadraya kita menuju: a Big Freeze, a Big Rip, a Big Crunch, or a Big Bounce? Ataukah hanya bagian dari suatu proses siklis?
- Bentuk dan ukuran Jagadraya?
  - ✓ Diameter dari observable universe sekitar 93 billion light-years, tapi seberapa besar sebenarnya seluruh Jagadraya?
  - ✓ Apakah multiverse ada?
- Baryon asymmetry: Kenapa lebih banyak materi dari pada antimateri di dalam observable universe?
- Kandidat dark matter yang sesuai?
- Apa sebenarnya dark energy itu?
- Model inflasi bagaimana yang sesuai?
- Adakah teori beyond standard model of particle yang mencakup semua interaksi dan mampu menjelaskan semua fenomenologi?
- dll



# Mengenal $F(R)$ modified gravity theory

- Persamaan Medan Einstein = Aksi Hilbert-Einstein

$$S = \int \left[ \frac{1}{2\kappa^2} R + L_m \right] \sqrt{-g} d^4x$$

Modifikasi sector gravitasi: modified gravity theory

- Teleparallel gravity
- Scalar-Tensor gravity
- Bimetric theory
- $F(R)$  Theory:

$$S = \int \left[ \frac{1}{2\kappa^2} F(R) + L_m \right] \sqrt{-g} d^4x$$

- dll

Modifikasi sector materi: menambah partikel model standar untuk menjelaskan:

- Massa neutrino
- Inflaton = medan scalar pembangkit inflasi
- $\Lambda$  atau semisalnya = menjelaskan dark energy
- Dark matter particles
- dll



# $F(R)$ modified gravity theory

- Menangani dengan baik inflasi: Starobinsky model  $F(R) = R + \alpha R^2$  atau  $F(R) \propto R^m, m > 0$
- Menangani dengan baik masalah dark energy:  $F(R) \propto R^m, m < 0$
- Interaksi dengan materi:  
Chameleon mechanism, dapat menjelaskan produksi dark matter dan dark energy.  
Mekanisme yang mungkin lainnya?
- Dinamika fase jagad raya? Transisi jadi satu fase ke fase yang lain
- Produksi partikel dan penjelasan kelimpahannya? Misal fase reheating: inflaton meluruh menjadi dark matter dan SM particles.
- Model  $F(R)$  yang viable bagaimana?





# Riset S1 dan S2:

- Jumlah: S1 sebanyak 2-3 orang, S2 sebanyak 1-2 orang
- Target: S1 belajar konsep dari paper-paper, S2 sintesis dan menemukan hal yang baru.
- Kualifikasi minimal:  
S1: Sudah mengambil MKW Teori Relativitas dan akan atau sudah mengambil MKP Pengantar Astrofisika dan Kosmologi  
S2: Sudah atau akan mengambil MKP Kosmologi.
- Kualifikasi plus:  
Menguasai komputasi simbolik (Maple, Mathematica dst)  
Menguasai komputasi numerik (Matlab, python, dst)  
Faham TRU, Fisika Partikel, dan Teori medan Kuantum



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

Terima kasih.. !!