

INTERAKSI ANTARA GELOMBANG KELVIN DAN QUASI-BIENNIAL OSCILLATION: ANALISIS FLUKS MOMENTUM

SITI ALLAYSA AZZAHRA



DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Interaksi antara Gelombang Kelvin dan Quasi-Biennial Oscillation: Analisis Fluks Momentum” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Siti Allaysa Azzahra
G2401221004



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

ABSTRAK

SITI ALLAYSA AZZAHRA. Interaksi antara Gelombang Kelvin dan Quasi-Biennial Oscillation: Analisis Fluks Momentum. Dibimbing oleh SONNI SETIAWAN dan MUHAMAD REYHAN RESPATI.

Studi ini menyelidiki interaksi antara gelombang Kelvin dan Quasi-Biennial Oscillation (QBO) melalui pendekatan fluks momentum *eddy* di wilayah ekuator (10°LU – 10°LS) menggunakan data reanalisis ERA5 dari Januari 1994 hingga Desember 2023. Gelombang Kelvin diisolasi menggunakan metode *wavenumber-frequency filtering* berbasis transformasi Fourier dua dimensi dengan kriteria bilangan gelombang zonal $k = 1$ – 14 , periode 2,5–17 hari, dan kedalaman ekuivalen 8–90 meter. Indeks QBO diperoleh dari anomali angin zonal rata-rata zonal pada ketinggian 50 hPa. Hasil menunjukkan bahwa aktivitas gelombang Kelvin lebih kuat selama fase QBO timuran dibandingkan fase QBO baratan, yang ditunjukkan oleh ragam anomali angin zonal yang lebih besar dan distribusi energi yang lebih luas. Secara vertikal, energi gelombang terekam lebih besar pada lapisan 100 hPa yang bertindak sebagai zona penyangga (*buffer zone*) di dekat sumber konveksi. Kecepatan fase gelombang Kelvin pada 50 hPa lebih rendah selama fase timuran QBO ($\sim 20,9$ m/s) dibandingkan fase baratan ($\sim 24,6$ m/s) sebagai manifestasi langsung dari mekanisme penyerapan level kritis (*critical level absorption*) dan pergeseran Doppler oleh angin dasar. Analisis *lag-correlation* mengungkapkan bahwa konvergensi fluks momentum gelombang pada arah vertikal ($-\partial(u'\omega')/\partial p$) menunjukkan korelasi yang kuat dan signifikan secara statistik dengan evolusi angin dasar ($\partial\bar{u}/\partial t$), sedangkan konvergensi pada arah meridional ($-\partial(\bar{u}'v')/\partial y$) menunjukkan korelasi yang lebih lemah. Hal ini mengonfirmasi secara empiris bahwa transfer momentum pada arah vertikal merupakan forcing yang paling utama antara gelombang Kelvin dan QBO. Nilai korelasi yang kuat antara ($\partial\bar{u}/\partial t$ dan fluks momentum vertikal pada *lag* di sekitar nol hingga *lag* negatif menunjukkan bahwa modulasi propagasi gelombang dan evolusi aliran rata-rata berinteraksi satu sama lain seperti halnya sebuah sistem berkopel. Interaksi ini merepresentasikan interaksi timbal balik, di mana perubahan angin bertindak sebagai filter yang menyerap gelombang, sementara penyerapan momentum gelombang Kelvin memberikan *forcing* langsung untuk mempertahankan dan mempercepat siklus QBO.

Kata kunci: fluks momentum, gelombang kelvin, quasi-biennial oscillation



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRACT

SITI ALLAYSA AZZAHRA. Interaction between Kelvin Wave and Quasi-Biennial Oscillation: Analysis Momentum Flux. Supervised by SONNI SETIAWAN and MUHAMAD REYHAN RESPATI.

This study investigates the interaction between Kelvin waves and the Quasi-Biennial Oscillation (QBO) through an eddy momentum flux approach over the equatorial region (10°N–10°S) using ERA5 reanalysis data from January 1994 to December 2023. Kelvin waves were isolated using a two-dimensional Fourier transform-based wavenumber–frequency filtering method with zonal wavenumbers of $k = 1–14$, periods of 2.5–17 days, and equivalent depths of 8–90 m. The QBO index was derived from the zonal mean zonal wind anomaly at the 50 hPa level. The results show that Kelvin wave activity is stronger during the easterly phase of the QBO than during the westerly phase, as indicated by larger zonal wind anomaly variance and a broader distribution of wave energy. Vertically, the largest wave energy is observed at 100 hPa, which acts as a buffer zone near the primary convective source region. The phase speed of Kelvin waves at 50 hPa is lower during the easterly QBO phase (~ 20.9 m/s) than during the westerly phase (~ 24.6 m/s), reflecting the combined effects of critical level absorption and Doppler shifting by the background wind. Lag-correlation analysis reveals that the vertical eddy momentum flux convergence, $(-\partial(\overline{u'\omega'})/\partial p)$, exhibits a strong and statistically significant correlation with the evolution of the mean zonal wind, $(\partial \bar{u}/\partial t)$, whereas the meridional eddy momentum flux convergence, $(-\partial(\overline{u'v'})/\partial y)$, shows a considerably weaker relationship. These findings provide empirical evidence that vertical momentum transfer is the dominant forcing mechanism governing the interaction between Kelvin waves and the QBO. The strong correlation between $(\partial \bar{u}/\partial t)$ and the vertical momentum flux convergence at near-zero and negative lags indicates that wave propagation and mean-flow evolution behave as a coupled system. This interaction represents a two-way feedback process in which the background wind modulates wave propagation through selective filtering and critical level absorption, while the deposition of Kelvin wave momentum provides the primary forcing that sustains and accelerates the QBO cycle.

Keywords: kelvin wave, momentum flux, quasi-biennial oscillation



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

INTERAKSI ANTARA GELOMBANG KELVIN DAN QUASI-BIENNIAL OSCILLATION: ANALISIS FLUKS MOMENTUM

SITI ALLAYSA AZZAHRA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada
Program Studi Meteorologi Terapan

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

Perpustakaan IPB University

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Uzatul Hafizah, S.Si., M.Si.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Skripsi : Interaksi antara Gelombang Kelvin dan Quasi-Biennial
Oscillation: Analisis Fluks Momentum

Nama : Siti Allaysa Azzahra

NIM : G2401221004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Sonni Setiawan, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:

Muhamad Reyhan Respati, S.Si. M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi:

Dr. Ana Turyanti, S.Si., M.T.

NIP. 197107071998032002



Tanggal Ujian:
23 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2025 sampai bulan Juli 2026 ini ialah gelombang ekuatorial, dengan judul “Interaksi antara Gelombang Kelvin dan Quasi-Biennial Oscillation: Analisis Fluks Momentum”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Bapak Sonni Setiawan S.Si., M.Si. dan Bang Muhamad Reyhan Respati S.Si., M.Sc. yang telah memberikan ide (topik) penelitian, membimbing dan banyak memberi saran hingga karya ilmiah ini selesai. Selanjutnya ucapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Dody Iskandar dan Sri Mulyati serta kakak penulis, Muhammad Fadhil Iskandar dan Annisa Maramis yang telah memberi dukungan dan doa selama penulis menempuh studi di Institut Pertanian Bogor.
2. Teman jurusan, Annisa dan Rianta yang selalu kebersamai penulis dikala susah dan senang selama masa perkuliahan dan menjadi tempat penulis untuk bertukar pikiran.
3. Teman KKN-T Wonosatu, Fachri, Lovelyn, Ara, Arfan, Ifa, Reyhan, Farel dan Leyda yang menjadi penyemangat dan penghibur untuk penulis saat pelaksanaa KKN dan setelah KKN selesai.
4. Teman seperjuangan GFM angkatan 59, yang telah berjuang sampai akhir masa perkuliahan. Serta teman pertama di IPB, Riana dan Dini yang selalu kebersamai penulis pada semester awal perkuliahan hingga saat ini.
5. Hindia, .Feast, Kunto Aji, Sal Priadi, dan Payung Teduh yang telah menjadi penghibur, penyemangat, dan teman bagi penulis selama penulisan karya ilmiah ini selesai, melalui karya musiknya yang memiliki diksi yang luar biasa.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Siti Allaysa Azzahra



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Gelombang Atmosfer dan Gelombang Kelvin	3
2.2 Quasi-Biennial Oscillation	4
2.3 Interaksi Gelombang Kelvin dan QBO	4
2.4 Neraca Momentum Zonal	5
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Prosedur Analisis Data	7
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Karakteristik Quasi-Biennial Oscillation	13
4.2 Karakteristik Gelombang Kelvin dalam Fase QBO Baratan dan Timuran	15
4.3 Fluks Momentum Eddy Terkait Gelombang Kelvin	21
V SIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Simpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	31
RIWAYAT HIDUP	43



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR GAMBAR

1	Distribusi vertikal anomali angin zonal rata-rata bulanan di wilayah ekuator.	13
2	(a) Indeks QBO pada level 50 hPa menggunakan anomali angin zonal rata-rata, di mana area merah mewakili fase baratan (QBOW) dan area biru mewakili fase timuran (QBOE). (b) Anomali suhu zonal rata-rata pada ketinggian 100 hPa.	14
3	Ragam anomali angin zonal gelombang Kelvin 50 hPa di wilayah tropis (10°LS – 10°LU).	16
4	Komposit gelombang Kelvin dalam koordinat bujur–waktu (lag-hari) pada ketinggian 50 hPa.	17
5	Ragam anomali angin zonal gelombang Kelvin 100 hPa di wilayah tropis (10°LS – 10°LU).	19
6	Komposit gelombang Kelvin dalam koordinat bujur–waktu (lag hari) pada ketinggian 100 hPa.	20
7	Korelasi lag terhadap dinamika angin zonal rata-rata pada level 50 hPa.	21
8	Korelasi lag terhadap dinamika angin zonal rata-rata zonal ($\partial\bar{u}/\partial t$) pada konvergensi fluks momentum eddy pada level 50 hPa pada resolusi bulanan.	22
9	Korelasi lag antara percepatan angin zonal rata-rata zonal ($\partial\bar{u}/\partial t$) dan konvergensi fluks momentum eddy yang telah di filter gelombang Kelvin pada level 50 hPa.	23
10	Korelasi lag antara percepatan angin zonal rata-rata zonal ($\partial\bar{u}/\partial t$) dan konvergensi fluks momentum eddy pada level 50 hPa menggunakan resolusi harian.	25

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Perhitungan indeks QBO dan anomali suhu.	32
2	Lampiran 2 Pemisahan gelombang Kelvin dan komposit Hovmöller.	34
3	Lampiran 3 Perhitungan konvergensi fluks momentum eddy dan lag korelasi.	39



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.