

**KARAKTERISTIK SPEKTRA ENERGI KINETIK DARI  
DATA MODEL SKALA MESO JMA-NHM**

**TUGAS AKHIR**

Disusun untuk Memenuhi Syarat Kurikuler  
Program Sarjana di Program Studi Meteorologi

oleh:

**R. ANNISA DHINI SEPTI KINASIH  
(12810010)**



**PROGRAM STUDI METEOROLOGI  
FAKULTAS ILMU DAN TEKNOLOGI KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG  
2014**

**LEMBAR PENGESAHAN**

TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL

**KARAKTERISTIK SPEKTRA ENERGI KINETIK DARI DATA MODEL  
SKALA MESO JMA-NHM**

oleh:

**R. ANNISA DHINI SEPTI KINASHIH  
(12810010)**

Telah diperiksa dan disetujui:

Bandung, September 2014

Pembimbing

(Dr. Nurjanna Joko Trilaksono)  
NIP. 19820303 201012 1 005

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“DENGAN MENYEBUT NAMA ALLAH YANG MAHA PENGASIH LAGI MAHA PENYAYANG”  
(QS: AL-FATIHAH:1)

*“It is Allah who sends the winds, and they stir the clouds and spread them in the sky however He wills, and He makes them fragments so you see the rain emerge from within them. And when He causes it to fall upon whom He wills of His servants, immediately they rejoice.”*

**Q.S. Ar-rum:48**

# KARAKTERISTIK SPEKTRA ENERGI KINETIK DARI DATA MODEL SKALA MESO JMA-NHM

**R. Annisa Dhini Septi Kinasih  
(12810010)**

## **ABSTRAK**

Analisis spektra dari energi kinetik (KE) digunakan untuk mengetahui sistem skala spasial yang berperan dalam mendorong terjadinya hujan lebat di utara Pulau Jawa pada akhir Januari sampai awal Februari 2007. Penelitian ini mensimulasikan data komponen kecepatan angin zonal dan meridional dari model skala meso JMA-NHM dengan metode *time-lagged ensemble* selama 72 jam simulasi setiap 6 jam sehingga menghasilkan 9 *ensemble members*. Analisis dititikberatkan pada periode 21 Januari sampai dengan 14 Februari 2007 yang merupakan rentang waktu terjadinya hujan lebat di utara Pulau Jawa.

Spektra yang dihasilkan memiliki kemiringan dengan rezim mendekati  $-2$  pada rentang panjang gelombang 487-1460 km. Kemiringan ini konsisten pada seluruh ketinggian dan seluruh periode yang dikaji. Munculnya rezim  $k^{-5/3}$  pada rentang panjang gelombang lebih kecil dari 400 km, dari satu pentad sebelum sampai dengan satu pentad sesudah kejadian, menunjukkan pengaruh yang kuat dari sistem skala meso terhadap variasi semidiurnal yang terjadi pada periode tersebut. Rezim  $k^{-3}$  menunjukkan eksistensinya di panjang gelombang 500-700 km pada periode pentad terjadinya hujan lebat sesuai dengan adanya penjalaran seruk dingin ke arah selatan Pulau Jawa. Eksistensi rezim skala meso mendominasi sebagian besar periode kajian secara konsisten dan menunjukkan peranannya terhadap kejadian hujan lebat tersebut.

Kata kunci: spektra energi kinetik, banjir Jakarta 2007, model JMA-NHM.

***KINETIC ENERGY SPECTRA CHARACTERISTIC FROM MESOSCALE  
MODEL DATA JMA-NHM***

**R. Annisa Dhini Septi Kinasih  
(12810010)**

***ABSTRACT***

*Kinetic energy (KE) spectra analysis is used to determine the spatial scale systems that play a role in enhancement of heavy rainfall on the north of Java Island from late January to early Februari 2007. Zonal and Meridional wind component from mesoscale model data JMA-NHM is simulated by time-lagged ensemble method for 72-h simulation every 6 h and produce 9 ensemble members. Analysis in this study focus on heavy rainfall period between 21 January-4 February 2007.*

*Spectra is generated -2 slope behavior at wavelength around 487-1460 km. This regime appears consistently over the various pressure level and the entire period. The emergence of  $k^{-5/3}$  in small scale (less than 400 km), from one pentad before to one pentad after the event, shows the strong influence of mesoscale system to semidiurnal variation that occurs during the period.  $K^{-3}$  regime reinforces its presence around the wavelength from 500-700 km coincide cold surge existences flow to southern Java . Mesoscale regime dominates most of this study period consistently and shows its role in the occurrence of heavy rainfall.*

*Keywords: kinetic energy spectra, Jakarta flood 2007, JMA-NHM model*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan semesta alam, Allah SWT, karena hanya dengan izin dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Karakteristik Spektra Energi Kinetik Dari Data Model Skala Meso JMA-NHM”. Tugas akhir ini adalah salah satu persyaratan bagi saya untuk menyelesaikan program Sarjana Meteorologi di ITB. Saya tidak akan bisa menyelesaikan tugas akhir ini tanpa dukungan dan dorongan secara langsung maupun tidak langsung dalam berbagai hal dari berbagai pihak yang telah membantu saya. Penghargaan dan rasa terima kasih saya sampaikan kepada:

1. Ibunda Djulas Agustini dan Ayahanda R. Budhi Riabudhi Ropandi atas curahan doa, kasih sayang dan dukungan yang tak henti-hentinya mengalir kepada saya semenjak saya kecil sampai saat ini
2. Kakanda Safitri Islami Putri dan Adinda Lintang Ayu Saraswati atas curahan doa dan semangat yang diberikan selama ini
3. Bapak Dr. Nurjanna Joko Trilaksono selaku pembimbing tugas akhir saya yang telah banyak memberikan dukungan, saran, ilmu, bimbingan dan banyak hal lainnya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini
4. Bapak Joko Wiratmo, S.Si, MP. selaku dosen wali yang telah banyak memberikan dukungan, saran dan nasihat kepada saya selama mengenyam pendidikan di ITB, khususnya di Program Studi Meteorologi
5. Bapak Dr. Tri Wahyu Hadi dan Ibu Rosbintarti Kartika Lestari yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan tugas akhir
6. Kakanda Noviana Dewani, S.Si. selaku rekan seperjuangan dalam penyelesaian dan tempat berbagi segala hal terkait tugas akhir ini
7. Sahabat-sahabat seperjuangan Meteorologi 2010 serta Drawana dan rekan sejawat sesama penghuni lab Analisis Meteorologi atas kebersamaan dalam susah senang menjalani perjuangan tugas akhir
8. Seluruh keluarga guru di Sekolah Bermain Balon Hijau atas segala dukungan, doa, dan harap yang tercurah bagi saya dalam menjalankan amanah

9. Seluruh keluarga besar panitia Aku Masuk ITB (AMI) atas segala kenangan, motivasi, inspirasi, rasa dan asa yang berpadu dalam sejumpat doa bagi saya untuk senantiasa bermanfaat dan berbagi kepada sesama
10. Seluruh keluarga trainer Lembaga Tahap Persiapan Bersama (LTPB) ITB yang telah senantiasa berbagi dan mengingatkan saya untuk menyelesaikan tugas akhir
11. Seluruh civitas akademika dan karyawan Program Studi Meteorologi yang telah menjadi pendukung yang penting dalam proses belajar mengajar selama ini dan penyelesaian tugas akhir ini.

Saya sadar bahwa masih banyak kekurangan pada tugas akhir ini. Untuk itu saya mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk membawa perbaikan pada penelitian ini. Semoga tugas akhir ini bisa memberikan sumbangan manfaat bagi para pembaca dan semua pihak, khususnya para individu yang bergelut di bidang meteorologi.

Bandung, September 2014

R. Annisa Dhini Septi Kinasih

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK .....	ii
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1-1
1.1. Latar Belakang .....	1-1
1.2. Rumusan Masalah .....	1-2
1.3. Tujuan .....	1-3
1.4. Batasan Masalah .....	1-3
1.5. Sistematika Pembahasan .....	1-4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	2-1
2.1. Spektra Energi Kinetik .....	2-1
2.2. Kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa Tahun 2007 .....	2-5
BAB 3 DATA DAN METODE .....	3-1
3.1. Data .....	3-3
3.2. Metode .....	3-5
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	4-1
4.1. Kondisi Atmosfer pada Periode Kejadian .....	4-1
4.2. Perbandingan Spektra Energi Kinetik .....	4-4
4.3. Perbandingan Spektra Energi Kinetik Data Model Skala Meso JMA-NHM dengan Teori <i>Quasi Two-dimensional Turbulence</i> .....	4-19

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	5-1
5.1. Kesimpulan.....	5-1
5.2. Saran .....	5-2
DAFTAR PUSTAKA .....	DP-1

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skala temporal dan spasial dari gerak atmosfer (sumber: <a href="http://www.atmos.albany.edu/daes/atmclasses/atm418/">http://www.atmos.albany.edu/daes/atmclasses/atm418/</a> ).....	2-1
Gambar 2. 2 Spektrum Nastrom dan Gage (1984) dari observasi penerbangan GASP (simbol) dan Lindborg (1999) dari observasi penerbangan MOZAIC (sumber: Skamarock dkk., 2004) .....	2-3
Gambar 2. 3 Representasi skema rentang spektral di <i>quasi two-dimensional turbulence</i> (sumber: Larsen dkk., 1982 dalam Gage dan Nastrom, 1985).....	2-3
Gambar 2. 4 Penurunan energi kinetik dan enstrophy pada (a) teori <i>quasi-geostrophic</i> oleh Tung dan Orlando (2003) dan Gkioulekas dan Tung (2007) dan (b) teori <i>stratified turbulence</i> (Lindborg, 2006) (sumber: Brune, 2012).....	2-4
Gambar 2. 5 Vektor kecepatan angin permukaan laut hasil perhitungan oleh <i>Quick Scatterometer</i> milik NASA untuk 31 Januari 2007 (sumber: Wu dkk., 2007).....	2-6
Gambar 3. 1 Wilayah kajian penelitian yang dilakukan Trilaksono dkk. (2011) yakni pada daerah antara 4° LU – 14° LS dan 100° – 120° BT...	3-3
Gambar 3. 2 Diagram alir pengerjaan penelitian.....	3-4
Gambar 3.3. Profil vertikal dari temperatur (hitam) dan temperatur potensial (hijau) menunjukkan pembagian ketinggian untuk (a) troposfer level bawah, (b) troposfer level atas, dan (c) stratosfer level bawah.....	3-9
Gambar 4.1 Hasil penampang <i>latitude-height cross section</i> anomali temperatur dari rata-rata 5 pentad (warna; °C), rata-rata angin meridional dan vertikal (panah; ms <sup>-1</sup> ) antara 105.5° dan 108.5° BT untuk tiap pentad, temperatur potensial (Kontur; K), dan kelembapan relatif (Garis putus-putus; % ).....	4-3

Gambar 4.2	Spektra energi kinetik rata-rata seluruh level ketinggian dengan data dari model JMA-NHM (hitam) dan CCMP (hijau).....	4-5
Gambar 4.3	Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik dengan garis positif kemiringan referensi $k^{-3}$ (hijau), $k^{-5/3}$ (merah), dan garis kemiringan pada panjang gelombang lebih besar dari 400 km (biru) untuk data (a) CCMP dan (b) JMA-NHM. Wilayah berwarna biru menunjukkan wilayahh dengan panjang gelombang terdefinisi sinoptik (lebih besar dari 400 km), sedangkan daerah berwarna oranye menunjukkan bagian munculnya garis.....	4-6
Gambar 4.4	Spektra energi kinetik rata-rata seluruh level ketinggian dengan perbandingan tiap pentad. Garis putus-putus merupakan garis yang dihasilkan dari kemiringan referensi untuk $k^{-3}$ dan $k^{-5/3}$ serta kemiringan pada panjang gelombang lebih besar dari 400km.....	4-8
Gambar 4.5	Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik keterangan seperti pada Gambar 4.3 untuk rata-rata seluruh ketinggian di (a) Pentad 1, (b) Pentad 2, (c) Pentad 3, (d) Pentad 4, dan (e) Pentad 5.....	4-10
Gambar 4.6	Spektra energi kinetik rata-rata level ketinggian (a) <i>troposfer level bawah</i> , (b) <i>troposfer level atas</i> , dan (c) <i>stratosfer level bawah</i> . Keterangan yang berlaku seperti pada gambar 4.4.....	4-13
Gambar 4.7	Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik keterangan seperti pada Gambar 4.3 untuk rata-rata pada <i>troposfer level bawah</i> di (a) Pentad 1, (b) Pentad 2, (c) Pentad 3, (d) Pentad 4, dan (e) Pentad 5.....	4-15
Gambar 4.8	Spektra energi kinetik rata-rata level ketinggian (a) <i>troposfer level bawah</i> , (b) <i>troposfer level atas</i> , dan (c) <i>stratosfer level bawah</i> pada Pentad 3. Keterangan yang berlaku seperti pada gambar 4.4.....	4-17

- Gambar 4.9 Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik (keterangan seperti pada Gambar 4.3) untuk rata-rata pada Pentad 3 di (a) *troposfer level bawah*, (b) *troposfer level atas*, dan (c) *stratosfer level bawah*.....4-18
- Gambar 4.10 Spektra energi kinetik komposit dari 5 harian di Pentad 3 pada pukul (a) 02.00 WIB puncak presipitasi di daratan dan (b) 06.00 WIB puncak presipitasi di lautan. Keterangan yang berlaku seperti pada gambar 4.4.....4-19
- Gambar 4.11 Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik (keterangan seperti pada Gambar 4.3) untuk komposit 5 harian pada Pentad 3 di waktu (a) 02.00 WIB puncak presipitasi di daratan dan (b) 06.00 WIB puncak presipitasi di lautan.....4-20

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Nilai injeksi energi kinetik pada tiap pentad.....	4-7
Tabel 4.2 Karakteristik spektra pada tiap pentad dan panjang gelombang.....	4-9
Tabel 4.3 Nilai injeksi energi kinetik tiap pentad dan berbagai ketinggian.....	4-14

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A <i>Cross-Section</i> Theta-V dan Theta-E di longitude 106.88°BT....LA-	
4 <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Lampiran B <i>Cross-Section</i> CO dan Theta-V di longitude 106.88° BT..... LA-6	

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kejadian hujan lebat yang terjadi secara berulang di Pulau Jawa pada akhir Januari sampai dengan awal Februari 2007 menyebabkan salah satu kejadian banjir bandang yang memiliki dampak paling buruk yang tercatat dalam sejarah di wilayah Jakarta dan sekitarnya (Wu dkk., 2007). Pada penelitian yang dilakukan oleh Trilaksono dkk. (2011) terkait kejadian hujan lebat tersebut terlihat adanya kejadian *Borneo vortex* di bagian timur laut Kalimantan pada awal Januari beriringan dengan pengurangan jumlah curah hujan di Pulau Jawa. Sedangkan beberapa pentad setelahnya ketika *Borneo vortex* telah absen, *surge* yang semakin dingin dan kuat dapat mencapai Jawa dan meningkatkan presipitasi di wilayah tersebut sehingga memperlihatkan adanya pengaruh sistem sinoptik. Studi numerik terhadap kejadian ini menggunakan *the Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Model* (JMA-NHM; Saito dkk., 2006, 2007) dan dilakukan simulasi *time-lagged ensemble* terhadap prediksi cuaca numerik dengan 9 *member*. Proses ini dilakukan untuk melihat informasi probabilitas yang berguna untuk mempelajari studi hujan lebat yang terkait dengan sistem konvektif skala meso. Pembahasan terkait kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa telah cukup banyak dilakukan khususnya terkait pengaruh dari aliran monsun yang melewati ekuator, hanya saja belum dilakukan penelitian terkait distribusi energi dan sistem yang paling mendominasi kejadian tersebut secara fisis. Menurut Brune (2012), analisis spektra energi kinetik di atmosfer merupakan perhitungan yang baik ketika ingin mengetahui secara fisis bagian terbesar yang mendominasi gerak-gerak di atmosfer.

Beberapa penelitian menggunakan model numerik telah dilakukan untuk mengevaluasi spektra energi kinetik yang dihasilkan. Contohnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Koshyk dan Hamilton (2001) menggunakan GFDL (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*) model SKYHI, Hamilton dkk. (2008) dengan *Atmospheric GCM for Earth Simulator* (AFES), dan oleh Skamarock (2004) yang menggunakan model skala meso NWP [*the Weather Research and Forecast* (WRF) model; Skamarock dkk., 2001; Michalakes dkk., 2001] menunjukkan bahwa prediksi spektra yang dihasilkan sama dengan spektra hasil observasi dari Gage dan Nastrom (1984), Lindborg (1999), dan Cho dkk. (1999a,b). Oleh karena itu, studi spektra energi kinetik terhadap kejadian hujan lebat tersebut dengan model skala meso JMA-NHM perlu dilakukan sebagai studi lanjutan untuk mengetahui lebih dalam secara fisis distribusi energi sistem skala sinoptik maupun skala meso terhadap kejadian hujan lebat tersebut.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wu dkk. (2007) dan Trilaksono dkk. (2011) terbukti bahwa kejadian hujan lebat di wilayah Jakarta pada akhir Januari sampai dengan awal Februari bertepatan dengan munculnya sistem skala sinoptik yakni aliran monsun yang melewati ekuator yang kuat dari Belahan Bumi Utara (BBU). Kejadian hujan lebat secara berulang di wilayah utara Pulau Jawa terjadi karena adanya interaksi antara aliran monsun yang melewati ekuator dengan topografi di wilayah utara Pulau Jawa yang dikelilingi pegunungan, menyebabkan pembentukan angin konvergen di wilayah lembah karena adanya pemanasan yang berlebih di wilayah tersebut. Hal ini mendorong peningkatan kelembapan dan aliran ke atas sehingga menyebabkan kemunculan sistem konvektif skala meso (Wu dkk., 2007). Adanya pengaruh dari fenomena skala sinoptik dan meso terhadap kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa pada Tahun 2007 telah terbukti, namun belum diketahui fenomena skala manakah yang memiliki peranan paling besar terhadap periode kejadian tersebut.

### **1.3. Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah

1. Menganalisis spektra energi kinetik yang dihasilkan pada wilayah kajian untuk melihat fenomena skala manakah yang memiliki peranan dalam kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa Tahun 2007
2. Membandingkan spektra energi kinetik yang dihasilkan di wilayah kajian dengan teori yang digunakan oleh Gage dan Nastrom (1985) terkait karakteristik spektra energi kinetik.

### **1.4. Batasan Masalah**

Untuk membatasi masalah dari kajian tugas akhir ini, maka digunakan batasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang sebelumnya telah dilakukan oleh Trilaksono dkk. (2011) terkait kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa tahun 2007. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan model skala meso JMA-NHM dapat menghasilkan kembali dengan baik gambaran dari sistem konvektif kuat yang menyebabkan kejadian hujan lebat tersebut.
2. Analisis spektra energi kinetik dilakukan untuk melihat sistem dari skala manakah yang memiliki peranan dalam kejadian tersebut setelah sebelumnya terbukti adanya pengaruh dari sistem skala sinoptik maupun meso.
3. Penelitian ini berdasar teori yang diterapkan pada penelitian yang dilakukan oleh Nastrom dan Gage (1985) terhadap data observasi penerbangan untuk melihat karakteristik dari spektra yang dihasilkan.
4. Pendefinisian skala kemiringan spektrum menggunakan skala dari Boer dan Shepherd (1983) yakni 400–4000 km untuk rezim  $k^{-3}$  dan lebih kecil dari 400 km untuk rezim  $k^{-5/3}$ .

## **1.5. Sistematika Pembahasan**

Sistematika pembahasan tugas akhir ini mengikuti *outline* sebagai berikut.

BAB 1 menjabarkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika pembahasan dalam tugas akhir ini.

BAB 2 berisi tentang tinjauan dan studi pustaka yang menunjang tugas akhir ini dimulai dari penjelasan mengenai spektra energi kinetik secara umum dan teori-teori yang mendukung berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Selanjutnya, akan dijelaskan terkait kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa pada Tahun 2007 meliputi mekanisme dari kejadian tersebut.

BAB 3 merupakan penjelasan mengenai data dan metode dalam penelitian ini. Data yang dijelaskan adalah data-data yang digunakan dalam penelitian ini baik untuk melihat kondisi atmosfer di waktu kajian dan menghitung nilai energi kinetik. Sedangkan pada bagian metode akan dijelaskan mengenai proses transformasi data spasial serta perhitungan spektra energi kinetik. Sedangkan alur pengerjaan dalam penelitian ini terdapat pada metodologi.

BAB 4 berisi hasil dan pembahasan penelitian. Poin yang akan dibahas pertama adalah terkait kondisi atmosfer pada waktu kejadian. Kemudian analisis perbandingan kuantitatif data model dengan CCMP pada waktu kejadian hujan lebat. Selanjutnya dilakukan analisis terkait spektra energi kinetik rata-rata yang dihasilkan pada seluruh dan beberapa ketinggian tertentu untuk melihat spektra yang dihasilkan dari pentad ke pentad serta karakteristik spektra pada wilayah kajian.

BAB 5 berisi kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini. Selain itu dibahas juga mengenai saran terkait analisis spektra energi kinetik untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

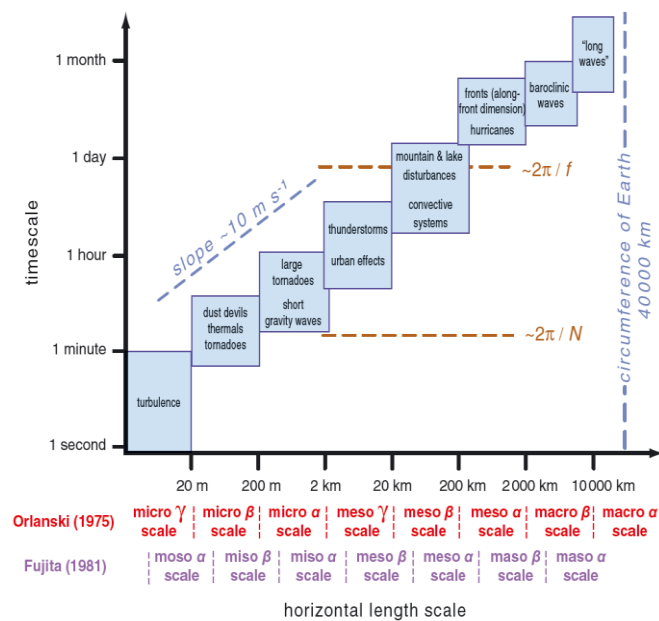
#### **2.1. Spektra Energi Kinetik**

##### **2.1.1. Pengertian Spektra Energi Kinetik**

Gerak di atmosfer merupakan gerak dengan berbeda dimensi spasial dan temporal berhubungan satu sama lain, interaksi satu sama lain akan menghasilkan proses yang terjadi dalam skala yang lebih besar (Richardson, 1922). Energi merupakan kemampuan sebuah objek dalam melakukan kerja, sehingga ketika atmosfer melakukan kerja artinya memiliki energi. Pada atmosfer, energi dapat ditransfer melalui gelombang tanpa disertai massa. Gelombang muncul dari keberagaman mekanisme fisis, dan muncul di berbagai skala spasial maupun temporal (Randall, 2014) seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Gelombang atmosfer dapat meningkatkan geser angin pada skala lokal dan menyebabkan terbentuknya turbulen. Keduanya dapat berasosiasi dalam mentransfer panas secara efisien.

Spektra energi kinetik merupakan fungsi bilangan gelombang ( $k$ ) horizontal yang dimulai dari kemunculan energi potensial secara zonal akibat perbedaan pemanasan radiasi matahari secara meridional (Lorenz, 1967). Penelitian terkait spektra energi kinetik di atmosfer khususnya untuk troposfer level atas dilakukan pertama kali oleh Kolmogorov (1941) dan dalam dekade tersebut dikembangkan studi secara observasi, numerik, dan teoritis (Brune, 2012). Berdasarkan Kolmogorov (1941) dan Kraichnan (1967), spektrum energi kinetik di atmosfer mengasumsikan kemiringan spektra terhadap bilangan gelombang ( $k$ ) adalah  $-3$  (rezim  $k^{-3}$ ) menilik pada total bilangan gelombang  $n$  dimana penurunan *enstrophy* (kuadrat vortisitas yang berkaitan dengan penghamburan energi kinetik dari skala besar ke skala kecil) mendominasi dan kemiringan  $-5/3$  (rezim  $k^{-5/3}$ ) dimana penyaluran energi kinetik ke skala yang lebih besar mendominasi yang

disebabkan oleh ketidakstabilan baroklinik. Bukti secara observasi dari rezim spektra di troposfer level atas telah ditemukan baik dari *global assimilated datasets* dimulai dengan penelitian yang dilakukan Boer dan Shephred (1983) dan pada data angin yang diperoleh selama penerbangan pesawat (Nastrom dkk., 1985; Gage dan Nastrom, 1984).

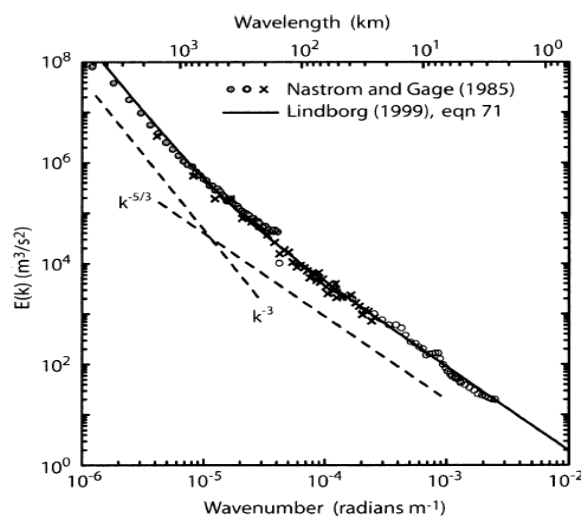


Gambar 2.1. Skala temporal dan spasial dari gerak atmosfer (sumber: <http://www.atmos.albany.edu/daes/atmclasses/atm418/>).

### 2.1.2. Teori-teori Spektra Energi Kinetik

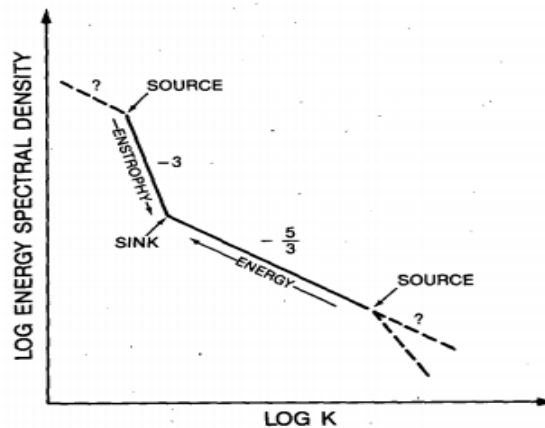
Analisis spektra energi kinetik dilakukan untuk melihat penyaluran energi kinetik di atmosfer dan mengetahui skala dari sumber energi tersebut. Analisis ini dilakukan dengan melihat spektra yang dihasilkan dari parameter tertentu dan dicocokkan dengan teori spektra energi kinetik yang ada sehingga nantinya secara jelas dapat diketahui dinamika atmosfer di wilayah kajian. Spektra energi kinetik atmosfer pada rentang panjang gelombang dari beberapa kilometer sampai skala sinoptik telah dipelajari oleh Nastrom dan Gage (1984). Penelitian tersebut

menganalisis data angin dan temperatur dari 6000 penerbangan komersil di lintang menengah dekat dengan *tropopause* selama *Global Atmospheric Sampling Program* (GASP) yang menunjukkan spektra memiliki dua kemiringan (*slope*) berbeda. Hasil ini sesuai dengan teori *two-dimensional turbulence* yang dicetuskan oleh Kraichnan (1967). Spektra yang dihasilkan menunjukkan kemiringan spektra terhadap bilangan gelombang adalah  $-3$  pada panjang gelombang dengan rentang 1000-3000 km yang dicirikan adanya penurunan *enstrophy* dan kenaikan energi dikarenakan ketidakstabilan baroklinik (Charney, 1971) untuk kemiringan spektra  $-5/3$  pada rentang 3-400 km.



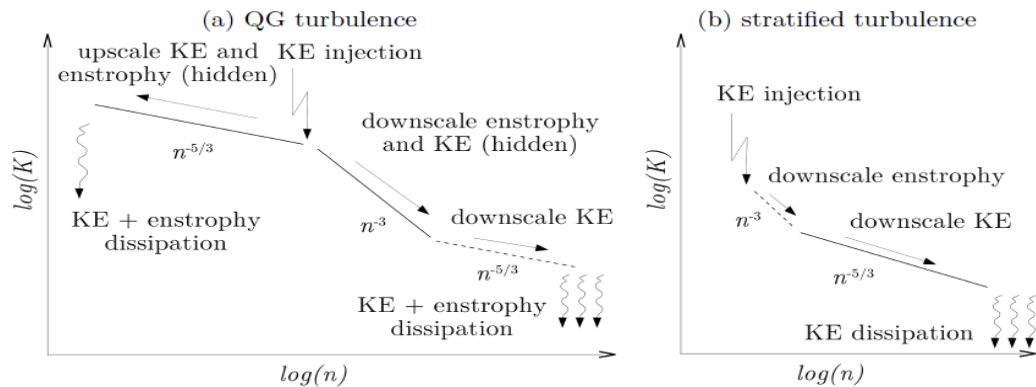
Gambar 2.2. Spektrum Nastrom dan Gage (1984) dari observasi penerbangan GASP (simbol) dan Lindborg (1999) dari observasi penerbangan MOZAIC (sumber: Skamarock dkk., 2004)

Kraichnan menunjukkan bahwa terdapat dua rentang penyaluran energi (*inertial range*) yang berkaitan dengan teori *two-dimensional turbulence* dimana  $k^{-3}$  merupakan rentang penurunan *enstrophy* pada skala panjang gelombang lebih kecil dari skala masuknya energi dan  $k^{-5/3}$  rentang penurunan energi pada skala panjang gelombang lebih besar dari skala masuknya energi (Nastrom dan Gage, 1985) seperti yang digambarkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Representasi skema rentang spektral di *quasi two-dimensional turbulence* (sumber: Larsen dkk., 1982 dalam Gage dan Nastrom, 1985).

Teori *two-dimensional turbulence* dalam menjelaskan kemunculan rezim  $k^{-5/3}$  masih kontroversi. Teori *geostrophic turbulence* yang dijelaskan oleh Charney (1971) menjelaskan penyaluran energi kinetik pada skala panjang gelombang besar yang mana pada skala tersebut gerak dipengaruhi rotasi dan memiliki *Rossby number* kurang dari satu (Xu dkk., 2011). Charney (1971) tidak dapat menjelaskan terkait kemunculan rezim  $k^{-5/3}$  pada skala kurang dari 1000 km seperti yang terjadi pada spektra hasil observasi Nastrom dan Gage (1984). Sehingga lahir teori yang dikembangkan oleh Lilly (1983) yang menjelaskan kemunculan rezim  $k^{-5/3}$  pada skala kurang dari 1000 km dikarenakan adanya penyaluran energi ke skala yang lebih besar dari sumber dengan skala panjang gelombang yang kecil seperti dari konveksi atau badai guruh. Dengan munculnya kedua teori ini, maka hasil penelitian yang dilakukan oleh Nastrom dan Gage (1984) menjurus pada gabungan kedua teori yang disebut sebagai teori *quasi two-dimensional turbulence*.



Gambar 2.4. Penurunan energi kinetik dan *enstrophy* pada (a) teori *quasi-geostrophic* oleh Tung dan Orlando (2003) dan Gkioulekas dan Tung (2007) dan (b) teori *stratified turbulence* (Lindborg, 2006) (sumber: Brune, 2012).

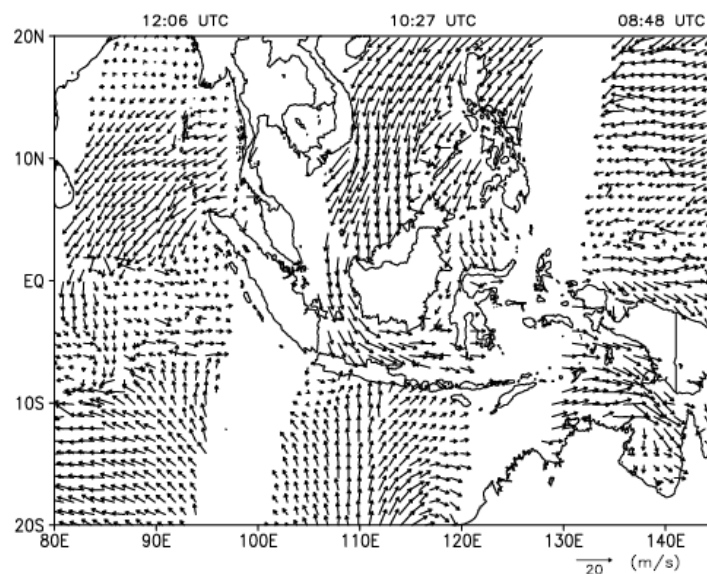
## 2.2. Kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa Tahun 2007

Hujan lebat yang terjadi secara berulang selama lebih dari seminggu di Pulau Jawa menyebabkan banjir bandang di Jakarta pada akhir Januari sampai dengan awal Februari tahun 2007. Kejadian tersebut bertepatan dengan kehadiran aliran monsun yang melewati ekuator dengan kategori kuat dan berkelanjutan dari Belahan Bumi Utara (BBU) dan menyebabkan terjadinya konveksi kelembapan yang kuat di sekitar Pulau Jawa (Wu dkk., 2007).

Tangang dkk. (2008) melakukan analisis terhadap presipitasi ekstrem yang menyebabkan banjir di wilayah selatan Malaysia pada pertengahan dan akhir Desember serta pada pertengahan Januari 2007 sebelum kejadian banjir Jakarta. Pada penelitian tersebut terlihat bahwa kejadian presipitasi ekstrem berhubungan dengan seruk dingin timur-laut yang kuat yang berinteraksi dengan sistem sinoptik lainnya seperti *Madden-Julian oscillation* (MJO) atau *Borneo vortex*. Selama kejadian *surge* kuat, angin yang lebih kuat terjadi di Asia Timur dan Laut Tiongkok Selatan. Selama 5 hari setelah kejadian *surge* kuat di Laut Tiongkok Selatan, aliran tersebut mengalir menuju lintang yang lebih rendah dan melewati ekuator sehingga mempengaruhi sirkulasi di Indonesia dan bagian utara Australia

(Suppiah dan Wu, 1998). Perpanjangan dari seruk dingin yang melewati ekuator utamanya dikarenakan penguatan angin timur-laut dekat permukaan. Aliran terhalang oleh topografi sehingga langsung diarahkan menuju ekuator (Chang dkk., 2005) hingga dapat mencapai Jawa. Seruk dingin bersifat kering, namun ketika melewati Laut Tiongkok Selatan berubah menjadi basah (Johnson dan Houze, 1987) sehingga dapat mendukung konveksi basah untuk berkembang (Trilaksono dkk., 2011).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wu dkk. (2007) terlihat bahwa terdapat kemungkinan aliran monsun yang menyebrangi ekuator berinteraksi dengan topografi wilayah tersebut, mendorong konveksi di atas gunung saat sore hari, dan di bagian utara pulau saat malam dan pagi hari. Proses ini dijelaskan oleh Tucker dan Crook (1999) pada penelitiannya di wilayah *Rocky Mountain* bahwa udara dingin yang mengalir pada kemiringan lembah akan menghasilkan sistem konvektif skala meso karena interaksinya dengan sirkulasi lokal di wilayah pegunungan.

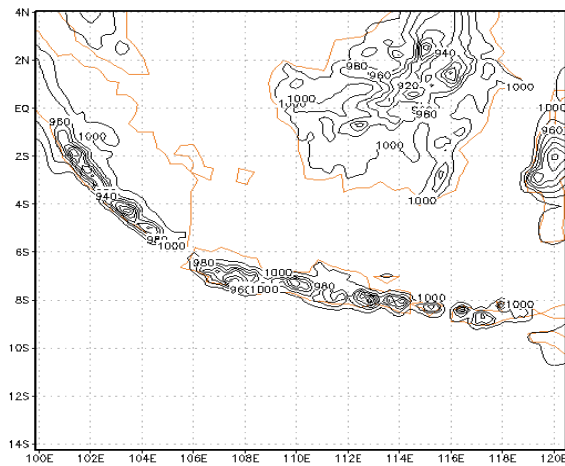


Gambar 2.5. Vektor kecepatan angin permukaan laut hasil perhitungan oleh *Quick Scatterometer* milik NASA untuk 31 Januari 2007 (sumber: Wu dkk., 2007).

### BAB 3

## DATA DAN METODE

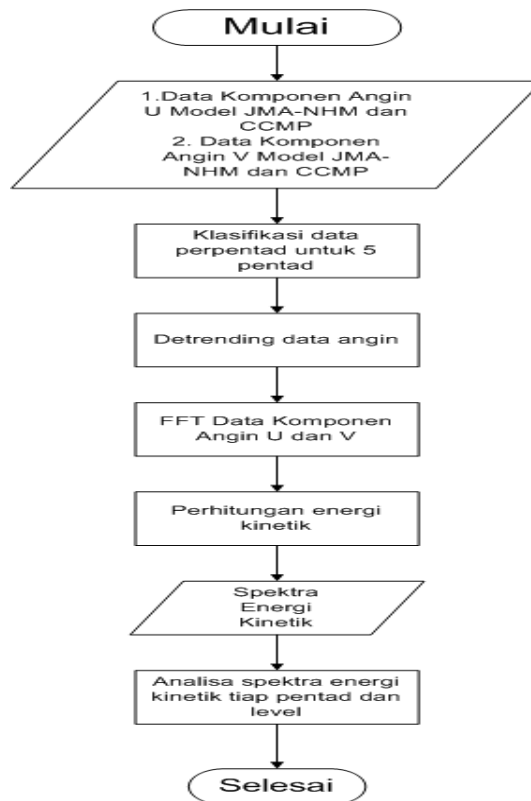
Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Trilaksono dkk. (2011) terkait simulasi terhadap kejadian hujan lebat secara berulang di utara Pulau Jawa Tahun 2007. Pada penelitian sebelumnya dilakukan simulasi terhadap model skala meso JMA-NHM dengan penggunaan *time-lagged ensemble* untuk menghindari masalah dalam proses model mencapai kestabilan pada tahap persiapan. Proses ini dapat menyebabkan adanya *bias* jika keseluruhan member dari *ensemble* dimulai dengan waktu awal yang sama. Penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu 25 hari yakni 21 Januari – 14 Februari 2007 pada daerah dengan koordinat  $14^{\circ}$  LS- $4^{\circ}$  LU dan  $100^{\circ}$ - $120^{\circ}$  BT yang mencakup wilayah penjalaran seruak dingin dan juga wilayah Pulau Jawa seperti yang disajikan di Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Wilayah kajian penelitian yang dilakukan Trilaksono dkk. (2011) yakni pada daerah antara  $4^{\circ}$  LU- $14^{\circ}$  LS dan  $100^{\circ}$ - $120^{\circ}$  BT.

Analisis terhadap spektra energi kinetik yang dihasilkan akan dilakukan dalam rata-rata lima harian (pentad), seperti yang dilakukan dalam penelitian

sebelumnya, untuk dapat melihat karakteristik gambaran statistik dari kejadian hujan lebat tersebut. Analisis yang dilakukan adalah selama lima pentad yakni Pentad 1 (21–25 Januari 2007), Pentad 2 (26–30 Januari 2007), Pentad 3 (31 Januari–4 Februari 2007), Pentad 4 (5–9 Februari 2007), dan Pentad 5 (10-14 Februari 2007). Langkah kerja pada penelitian ini terdapat lima bagian pengerjaan. Setelah dilakukan pengelompokkan berdasar pentad kemudian dilakukan *detrending data* untuk menghilangkan tren linear, perubahan fungsi spasial menjadi fungsi bilangan gelombang hingga akhirnya dilakukan perhitungan spektra energi kinetik. Setelah dilakukan perhitungan, dilakukan analisis spektra energi kinetik pada kejadian tersebut.



Gambar 3.2. Diagram alir pengerjaan penelitian.

### 3.1. Data

Kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa Tahun 2007 terjadi pada periode dimana Monsun Musim Dingin Asia aktif dan disusul dengan kejadian *Borneo vortex* di semenanjung Malaysia. Setelah absennya *Borneo vortex*, Monsun Musim Dingin Asia membawa seruk dingin melewati ekuator dan sampai di wilayah Pulau Jawa pada Akhir Januari sampai dengan awal Februari. Adapun data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data hasil prediksi dengan model numerik *Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Model* (JMA-NHM), seperti yang digunakan pada penelitian Trilaksono dkk. (2011), untuk penggambaran kondisi atmosfer dan spektra energi kinetik. Selain itu, digunakan data dari *Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) untuk perbandingan kuantitatif dari data hasil model serta data *ballon sounding* di Bandara Soekarno Hatta untuk penggambaran profil vertikal atmosfer. Berikut merupakan deskripsi dari masing-masing data:

#### 3.1.1. Data Komponen Angin Permukaan

Data komponen angin permukaan yang digunakan merupakan data dari proyek NASA untuk *Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP). *Dataset* CCMP merupakan kombinasi dari *cross-calibrated satellite wind* yang dihasilkan dari *Remote Sensing Systems* (REMSS) menggunakan *Variational Analysis Method* (VAM) untuk memproduksi data tergrid dengan resolusi yang tinggi yakni 0,25 derajat. VAM mengombinasikan data dari beberapa satelit angin sebagai pengamatan langsung dengan data estimasi komponen angin dari data reanalisis *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) ERA-40. Data CCMP ini digunakan untuk menghasilkan spektra energi kinetik sebagai perbandingan secara kuantitatif terhadap pola spektra yang dihasilkan oleh data hasil prediksi model skala meso JMA-NHM. Data ini dapat diakses secara online di <http://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/>.

### **3.1.2. Data Balloon Sounding**

Data temperature yang dihasilkan dari *Balloon Sounding* di Bandara Soekarno Hatta pada 1200 UTC (19.00 WIB) digunakan untuk menghasilkan profil vertikal temperature dan temperatur potensial virtual sebagai referensi dalam pembagian level ketinggian dalam analisis. Data dari *Balloon Sounding* ini dapat diakses secara *online* di <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

### **3.1.3. Data Komponen Angin Zonal dan Meridional**

Data komponen angin zonal dan meridional digunakan dalam perhitungan spektra energi kinetik. Data komponen angina tersebut merupakan data hasil prediksi pada penelitian yang dilakukan Trilaksono dkk. (2011) dengan model numerik *Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Model* (JMA-NHM, Saito dkk., 2006, 2007). Parameterisasi yang digunakan dalam model ini merujuk pada Hayashi dkk. (2008). Parameterisasi kumulus menggunakan skema Kain-Fritsch, skema mikrofisis awan yang digunakan adalah 6-class bulk microphysics, skema radiasi GSM0412 dan skema lapisan batas planeter dengan Mellor-Yamada level 3. Model JMA-NHM pada penelitian sebelumnya menggunakan data masukan awal dan kondisi batas dari *The National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) *Global Analyses* dengan resolusi horizontal sebesar  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Model tersebut disimulasikan dengan *time-lagged ensemble* menggunakan prosedur yang digunakan oleh Mittermaier (2007) dengan keterlambatan waktu selama 6 jam untuk tiap membernya dari 9 member. Data tersebut memiliki interval data setiap 1 jam. Data yang digunakan selama periode 5 pentad dari 21 Januari 0000 UTC sampai 14 Februari 2300 UTC Tahun 2007. Data tersebut memiliki resolusi horizontal dari domain sebesar 20 km dan domain memiliki 103 x 115 *grid points*.

### **3.1.4. Data Temperatur dan Kelembapan Relatif**

Data temperatur dan kelembapan relatif digunakan untuk menggambarkan kondisi atmosfer pada periode yang dibahas di penelitian ini. Data temperatur diolah menjadi anomali temperatur untuk periode 5 pentad, sedangkan data kelembapan relatif digunakan untuk penggambaran profil kelembapan. Kedua variabel digunakan untuk perhitungan temperatur potensial untuk membantu analisis. Data ini diperoleh dari data hasil prediksi model JMA-NHM dan disimulasikan dengan metode yang sama seperti pada data komponen angin horizontal dan vertikal.

## **3.2. Metode**

### **3.2.1. Menghilangkan Tren Data**

Tahapan pertama dari penelitian ini adalah proses *detrending* data yang bertujuan untuk menghilangkan nilai rata-rata atau tren linear dari data tersebut (Wu, Zhaohua dkk., 2007). Pada penelitian ini diperlukan proses *detrending* sesuai dengan penelitian yang dilakukan Errico (1985) dimana perlunya dilakukan proses ini dikarenakan pada model dengan *grid horizontal* memiliki pengaruh skala global (contohnya bilangan gelombang zonal 1-6) yang tidak dapat diselesaikan. Jika skala besar yang tak terselesaikan ini tidak dihilangkan dari data maka akan dianggap sebagai skala yang lebih kecil yang terselesaikan. Hal ini dapat secara signifikan mengubah spektrum yang diperoleh dari *grid* jika variansi dari skala besar tersebut juga besar. Selain itu, proses *Discrete Fourier Transform* (DFT) dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) akan diperlukan untuk mengubah fungsi spasial menjadi fungsi bilangan gelombang ( $k$ ). Analisis sinyal FFT digunakan pada sinyal dengan panjang yang tidak terbatas dan memiliki asumsi sinyal yang stasioner. Ketika sinyal yang ada dibatasi dan data tersebut non stasioner perlu dilakukan pendekatan, untuk mengantisipasi asumsi stasioner pada proses DFT. Proses *detrending* akan membuat pendekatan ini semakin baik dengan menghilangkan trennya.

Data yang digunakan merupakan data multidimensional atau lebih dari 1 dimensi. Data yang digunakan memiliki dimensi waktu, level tekanan, lintang, dan bujur. *Detrending* dilakukan dengan menghilangkan tren secara zonal dari barat ke timur dengan batas 15 poin setiap sisinya. Setelah itu dilakukan pengulangan terhadap komponen waktu, level tekanan, dan bujur. *Detrending* ini menghasilkan data satu dimensi yang selanjutnya dilakukan proses DFT.

### 3.2.2. Perubahan Data dari Fungsi Spasial menjadi Fungsi Bilangan Gelombang

Untuk mengetahui spektra dari energi kinetik yang dihasilkan maka setelah dilakukan *detrending* dilanjutkan dengan melakukan operasi perubahan data dari fungsi spasial menjadi fungsi bilangan gelombang dari data *non-stasioner* oleh transformasi *Fourier*. Beberapa aplikasi melibatkan transformasi *Fourier* dari deret yang kontinu, oleh karena itu untuk implementasi perhitungan menggunakan komputer digital, sinyal perlu diubah menjadi bentuk diskrit metode *Discrete Fourier Transform* (DFT). Algoritma yang paling efisien dalam perhitungan DFT adalah *Fast Fourier Transform* (FFT) dimana FFT merupakan algoritma khusus yang digunakan dalam proses diskritisasi dari transformasi *Fourier*.

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp \left[ -\frac{i2\pi kx}{N} \right] \quad (\text{III.5})$$

dimana  $F(k)$  merupakan hasil dari DFT dengan fungsi gelombang baik itu komponen angin  $u$  atau  $v$ , dengan  $N$  merupakan jumlah elemen data,  $k$  merupakan harmonik ke- ( $k=0, \dots, N-1$ ),  $i$  merupakan bilangan imajiner dan fungsi satu dimensi  $f(x)$ .

Proses *Fast Fourier Transform* pada komponen angin  $u$  dan  $v$  dilakukan sepanjang koordinat lintang yang telah dilakukan pada proses *detrending*. Pada penelitian ini transformasi yang digunakan merujuk pada Skamarock (2004) dengan menggunakan *one-dimensional transform* yang sederhana dikarenakan perbandingan yang nantinya dilakukan adalah terhadap hasil observasi data penerbangan oleh Nastrom dan Gage (1984) yang datanya tidak *multidimensional*.

### 3.2.3. Perhitungan Spektra Energi Kinetik

Perhitungan spektra energi kinetik yang dilakukan adalah dengan spektra energi kinetik satu dimensi . Penentuan spektra energy kinetik satu dimensi sendiri pada penggunaan di beberapa sumber menggunakan persamaan yang sedikit berbeda. Namun pada dasarnya tergantung pada penggunaannya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Skamarock (2004) dan Durran dkk. (2012) digunakan sebuah persamaan untuk menentukan spektra energy kinetik satu dimensi, setelah dilakukan proses *detrending* dan proses transformasi *Fourier* sebelumnya, dengan persamaan berikut

$$\hat{E}_{j,n}(k) = \frac{\Delta x}{2N_x} [\hat{u}_{j,n}(k)\hat{u}_{j,n}^*(k) + \hat{v}_{j,n}(k)\hat{v}_{j,n}^*(k)] \quad (\text{III. 6})$$

dimana  $E(k)$  merupakan energi kinetik yang dihasilkan,  $k$  merupakan bilangan gelombang  $k=2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  merupakan panjang gelombang secara zonal  $\hat{u}_{j,n}(k)$  dan  $\hat{v}_{j,n}(k)$  merupakan hasil transformasi *Fourier* dari komponen angin yang dihitung sepanjang koordinat ke- $i$  dan seluruh  $j$ , dan yang bertanda bintang merupakan konjugat kompleks.  $N_x$  merupakan jumlah titik-titik *grid* sepanjang koordinat ke- $i$  dan  $n$  merupakan *member* dari model yang digunakan.

### 3.2.4. Analisis Spektra Energi Kinetik

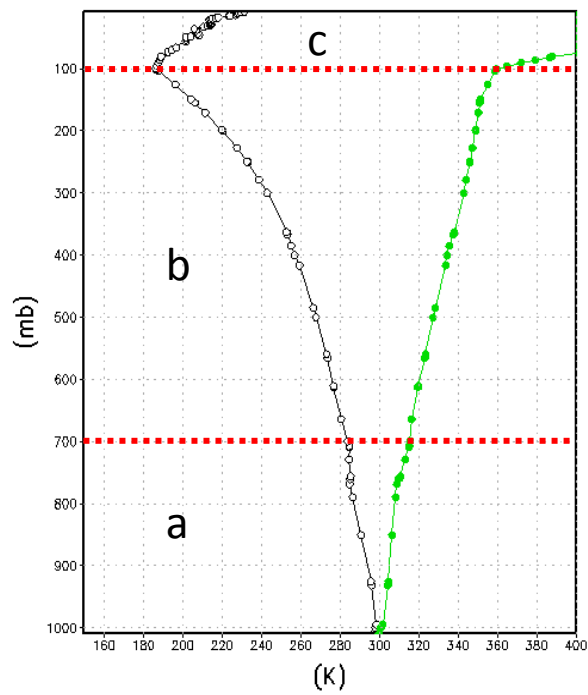
Analisis pada penelitian ini diawali oleh pengelompokkan data kedalam lima harian selama periode yang ditentukan. Lalu dilakukan analisis kondisi atmosfer pada keseluruhan pentad untuk melihat konsistensi fenomena dengan penelitian sebelumnya terkait adanya penjararan seruak dingin pada wilayah kajian. Selanjutnya dilakukan perbandingan kuantitatif antara spektra yang dihasilkan dari data model skala meso JMA-NHM dengan spektra dari data *Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) untuk melihat kecocokan pola dan kemiringan yang dihasilkan.

Analisis terhadap spektra energi kinetik pada rata-rata seluruh level ketinggian dilakukan untuk melihat karakteristik kemiringan yang dihasilkan dan membandingkan dengan teori yang digunakan oleh Gage dan Nastrom (1985). Analisis pun dilakukan dari pentad ke pentad untuk melihat fenomena yang muncul dari spektra tersebut di setiap pentadnya dan melihat ketersesuaian dengan analisis kondisi atmosfer yang telah dibahas sebelumnya.

Analisis spektra energi kinetik untuk pentad yang memiliki dinamika paling berbeda dilakukan pada rata-rata ketinggian di troposfer level bawah, troposfer level atas, dan stratosfer level bawah. Pendefinsian tiap level berdasarkan pada profil vertikal temperatur yang mengalami inversi di lapisan batas planeter dan adanya kenaikan nilai temperatur potensial virtual terhadap ketinggian seperti yang dijelaskan oleh Stull (1988). Lapisan batas planeter dijadikan acuan batas dari troposfer level bawah sedangkan transisi dari troposfer ke stratosfer dijadikan acuan untuk penentuan batas dari troposfer level atas dengan stratosfer level bawah.

Adanya inversi temperatur menandakan transisi ke lapisan stratosfer. Gambar 3.3 merupakan profil vertikal temperatur (hitam) dan temperatur potensial virtual (hijau) dari data *Ballon Sounding* di Stasiun Meteorologi Bandara Soekarno-Hatta tanggal 1 Februari 2007 sebagai referensi pembagian level. Dari profil tersebut terlihat bahwa troposfer level bawah berada pada ketinggian 1000-700 mb, troposfer level atas pada 700-100 mb, dan stratosfer level bawah pada 100 mb keatas. Adanya konsistensi dari kemunculan rezim tertentu pada sebagian besar pentad dan ketinggian yang dikaji akan ditentukan sebagai rezim yang paling berperan pada studi ini.

Profil Vertikal 1 Februari 2007 Pukul 07.00 WIB



Gambar 3.3. Profil vertikal dari temperatur (hitam) dan temperatur potensial (hijau) menunjukkan pembagian ketinggian untuk (a) troposfer level bawah, (b) troposfer level atas, dan (c) stratosfer level bawah.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Kondisi Atmosfer pada Periode Kejadian**

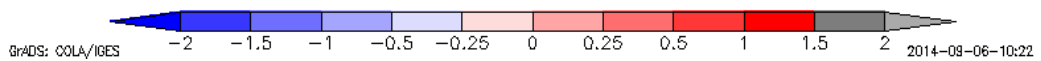
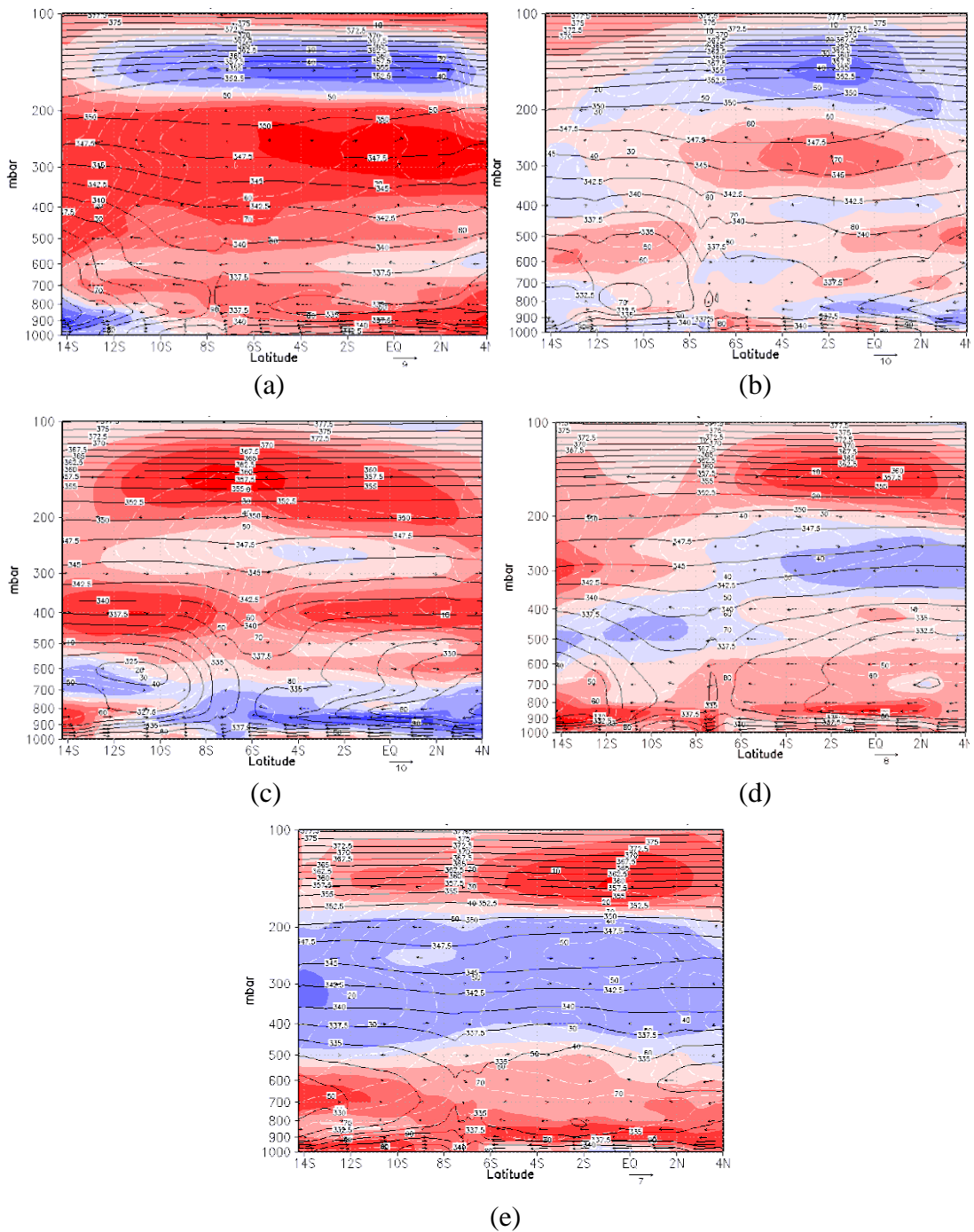
Trilaksono dkk. (2011) melakukan penelitian terhadap kejadian hujan lebat di utara Pulau Jawa dengan periode selama dua bulan, dan diketahui terdapat beberapa kejadian penjarangan monsun yang terobservasi. Namun dari periode penelitian dua bulan tersebut hanya kejadian pada periode 31 Januari–4 Februari 2007 yang menunjukkan keterkaitannya dengan penjarangan seruak dingin. Periode tersebut merupakan periode dimana kejadian banjir di Jakarta akibat hujan lebat secara berulang terjadi. Pada penelitian kali ini periode dari analisis kondisi atmosfer dipersempit menjadi 5 pentad saja atau sekitar 25 hari.

Gambar 4.1 menunjukkan *latitude-height cross section* dari rata-rata *ensemble* model yang untuk anomali temperatur dari rata-rata 5 pentad (warna; °C), rata-rata angin meridional dan vertikal (panah;  $\text{ms}^{-1}$ ) antara  $105.5^\circ$  dan  $108.5^\circ$  BT untuk tiap pentad, temperatur potensial (kontur; K), dan kelembapan relatif (garis putus-putus; %). Dari gambar tersebut menunjukkan adanya ketersesuaian pola dari anomali temperatur dengan hasil penelitian Trilaksono dkk. (2011) kecuali untuk Pentad 5 pada kajian ini yang tidak dibahas di penelitian sebelumnya. Dari gambar tersebut dapat terlihat adanya penjarangan seruak dingin pada Pentad 2 dimana ditandai dengan adanya penjarangan anomali dingin atau anomali temperatur negatif yang ditunggangi aliran monsun dari BBU yang merupakan fenomena dengan skala cakupan spasial sinoptik. Namun, pada periode Pentad 2 penjarangan seruak dingin ini belum mencapai bagian wilayah Pulau Jawa, masih terbatas pada bagian selatan dari Laut Tiongkok Selatan atau daerah semenanjung Malaysia. Seruak dingin yang menjaral juga didukung dengan nilai temperatur

potensial pada level tekanan dimana terdapat anomali dingin lebih kecil nilainya dibanding pada level tekanan lainnya.

Pada Pentad 3 terlihat pergeseran anomali dingin mencapai lintang  $12^{\circ}$  LS dan terlihat munculnya angin vertikal ke atas pada lintang  $6^{\circ}$ - $8^{\circ}$  LS dengan puncak anomali dingin di kisaran level tekanan 700-500 mb. Penjalaran anomali negatif ini semakin kuat dengan adanya intensifikasi penjalaran aliran monsun dari BBU. Di wilayah utara Pulau Jawa kelembapan relatif yang dihasilkan berkisar pada 80% dengan puncak kelembapannya di level tekanan 850-600 mb di wilayah utara Pulau Jawa. Terlihat pula adanya anomali temperatur positif yang kuat di level tekanan 200-100 mb. Pada Pentad 4 penjalaran anomali dingin sudah tidak tampak. Hal ini membuktikan bahwa kejadian dari seruak dingin sudah berhenti, namun pergerakan angin dari arah BBU masih mendominasi. Keseluruhan profil atmosfer pada periode kejadian hujan lebat menunjukkan ketersesuaian dengan hasil yang ditunjukkan pada penelitian Trilaksono dkk. (2011). Artinya fenomena sinoptik yang terjadi pada Pentad 1 sampai 5 di penelitian ini memiliki pengaruh yang besar sehingga dapat menunjukkan eksistensinya pada periode yang lebih panjang.

Interaksi antara aliran monsun yang melewati ekuator dengan topografi wilayah terlihat dengan adanya konsistensi kemunculan angin vertikal pada lintang  $6^{\circ}$  LS di pentad-pentad dengan penjalaran seruak dingin, dimana pada lintang tersebut merupakan batas utara dari Pulau Jawa seperti yang dapat dilihat di Gambar 3.1.



Gambar 4.1. Hasil penampang *latitude-height cross section* anomali temperatur dari rata-rata 5 pentad (warna; °C), rata-rata angin meridional dan vertikal (panah;  $\text{ms}^{-1}$ ) antara  $105.5^\circ$  dan  $108.5^\circ$  BT untuk tiap pentad, temperatur potensial (Kontur; K), dan kelembapan relatif (Garis putus-putus; %).

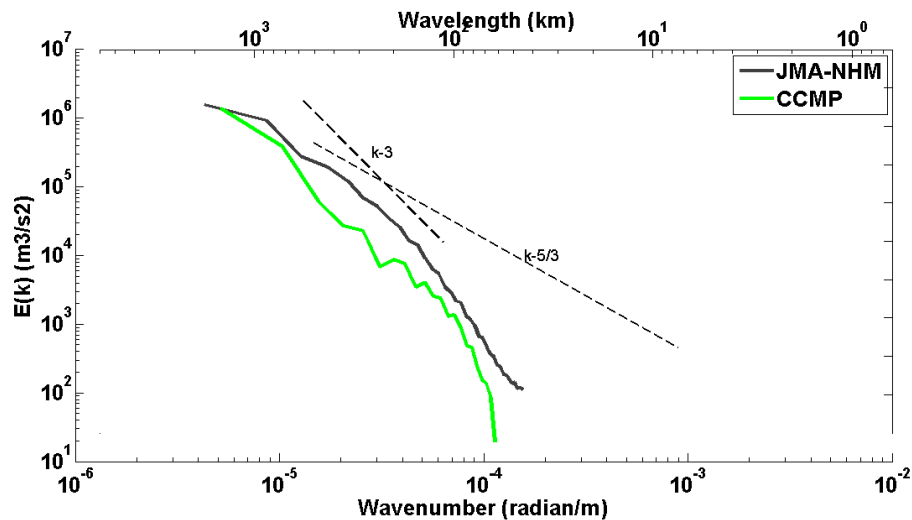
## **4.2. Perbandingan Spektra Energi Kinetik**

### **4.2.1. Perbandingan Spektra Energi Kinetik Data Model JMA-NHM dengan CCMP**

Analisis spektra energi kinetik dilakukan terhadap hasil perhitungan spektra komponen kecepatan angin zonal dan meridional di ketinggian 1000 mb atau permukaan di periode Pentad 3 atau 31 Januari–4 Februari 2007. Rentang periode ini dipilih karna Pentad 3 pada subbab sebelumnya telah terbukti terjadi penjaralan seruak dingin yang bertepatan dengan kejadian banjir di wilayah Jakarta. Data yang digunakan adalah data hasil simulasi model JMA-NHM yang memiliki resolusi horizontal sebesar 20 km dan CCMP yang memiliki resolusi 0,25 derajat. Analisis ini dilakukan untuk melihat perbandingan kuantitatif dari kedua data dengan melihat besarnya kemiringan dari energi kinetik terhadap bilangan gelombang yang dihasilkan pada panjang gelombang 400-1400 km.

Hasil spektra energi kinetik pada Gambar 4.2 menunjukkan spektra yang dihasilkan dari data model JMA-NHM lebih halus dibandingkan spektra dari data CCMP dikarenakan perbedaan resolusi dari keduanya. Faktor resolusi ini berpengaruh terhadap nilai spektra energi kinetik yang dihasilkan karena spektra tersebut merupakan fungsi bilangan gelombang horizontal yang bergantung pada resolusi dan jumlah *grid* dari data yang digunakan. Selain itu juga dikarenakan hasil spektra dari data model JMA-NHM adalah hasil rata-rata 9 *member*. Kedua spektra menunjukkan adanya injeksi energi (masuknya energi dari sumber untuk ditransfer baik ke skala yang lebih kecil atau lebih besar dengan melihat kemunculan puncak dari spektra yang dihasilkan) pada panjang gelombang 1221 km sebesar  $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^2$  untuk spektra CCMP dan panjang gelombang 1460 km sebesar  $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^2$  untuk spektra JMA-NHM. Pada tiap spektra yang dihasilkan akan menampilkan error yang ditandai dengan penurunan energi secara drastis pada nilai bilangan gelombang yang besar atau panjang gelombang yang kecil. Untuk mengetahui pada rentang panjang gelombang berapakah model

menampilkan *error* pada spektra, maka perlu dilakukan analisis resolusi efektif yang pada penelitian ini tidak dibahas terkait analisis tersebut.

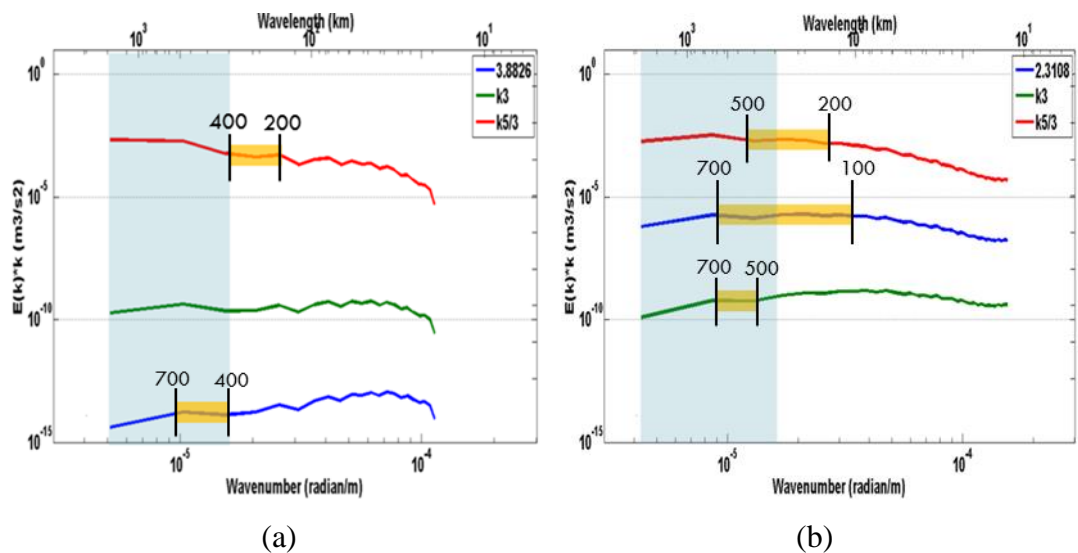


Gambar 4.2. Spektra energi kinetik rata-rata seluruh level ketinggian dengan data dari model JMA-NHM (hitam) dan CCMP (hijau)

Perbedaan spektra kedua data dapat dilihat dengan lebih jelas dari kemiringan yang dihasilkan di beberapa panjang gelombang. Gambar 4.3 menunjukkan pola dari spektra, dimana nilai energi kinetik dikalikan dengan nilai positif kemiringan yang diinginkan. Untuk melihat rezim kemiringan yang muncul pada spektra maka dapat dilihat pada setiap garis referensi dengan meninjau garis lurus pada tiap garis kemiringan. Kemiringan yang dijadikan referensi adalah rezim kemiringan  $-3$  dan  $-5/3$  seperti yang dihasilkan dari data observasi penerbangan Nastrom dan Gage (1984). Kemiringan yang dihasilkan pada panjang gelombang 407-1221 km dari data CCMP adalah sebesar  $-3,8826$  sedangkan dari data JMA-NHM pada panjang gelombang 487-1460 km adalah sebesar  $-2,3108$ . Walaupun kedua spektra memiliki nilai kemiringan yang berbeda, namun keduanya dapat menangkap pengaruh skala meso yang ditandai dengan munculnya garis lurus di luar daerah biru untuk garis referensi  $k^{-5/3}$  pada kisaran panjang gelombang antara 200–500 km untuk JMA-NHM dan 200-400 km untuk CCMP. Munculnya rezim kemiringan  $-5/3$  menandakan adanya transfer energi dari sumber ke skala yang lebih besar. Hal yang berbeda adalah pada rentang panjang gelombang 500–700

km dimana JMA-NHM menangkap pengaruh skala sinoptik yang terlihat dari adanya garis lurus di garis referensi  $k^{-3}$  pada daerah biru. Kemunculan rezim kemiringan  $-3$  di daerah biru menunjukkan adanya penyaluran energi yang terhambur (*enstrophy*) dari skala yang lebih besar ke yang lebih kecil.

Dari kedua spektra tidak ada yang menunjukkan rata-rata kemiringan di panjang gelombang 400–1400 km yang sesuai dengan garis referensi. Keduanya memiliki nilai kemiringan yang cukup jauh dari garis referensi  $k^{-3}$  ataupun  $k^{-5/3}$ . Sedangkan untuk spektra energi kinetik yang dihasilkan pada panjang gelombang lebih kecil dari 400 km keduanya menunjukkan kemiringan yang beragam dan tidak stabil.



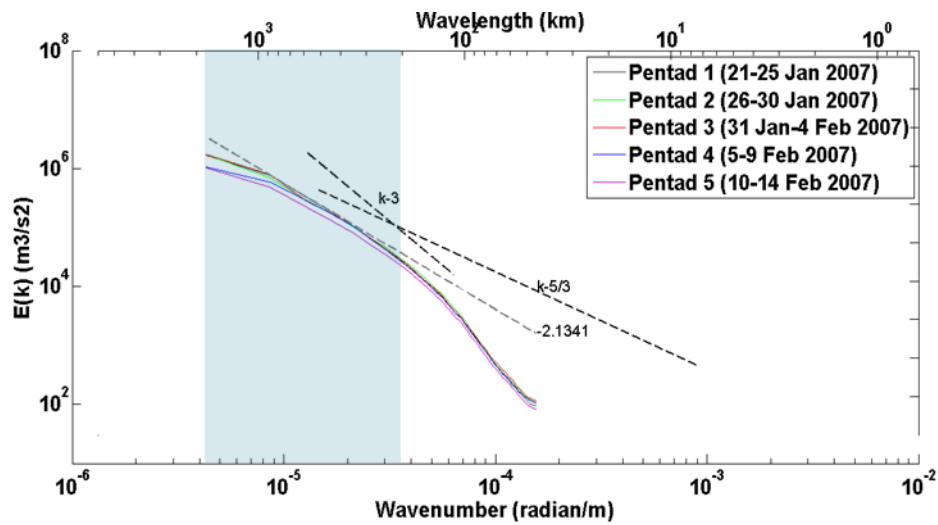
Gambar 4.3. Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik dengan garis positif kemiringan referensi  $k^{-3}$  (hijau),  $k^{-5/3}$  (merah), dan garis kemiringan pada panjang gelombang lebih besar dari 400 km (biru) untuk data (a) CCMP dan (b) JMA-NHM. Wilayah berwarna biru menunjukkan wilayah dengan panjang gelombang terdefinisi rezim  $k^{-3}$  (lebih besar dari 400 km), sedangkan daerah berwarna oranye menunjukkan bagian munculnya garis rezim.

#### 4.2.2. Analisis Spektra Energi Kinetik Rata-rata Seluruh Ketinggian

Spektra energi kinetik rata-rata di seluruh ketinggian menggunakan data dari model JMA-NHM dan menunjukkan pola yang cukup berbeda dibandingkan spektra JMA-NHM yang dihasilkan di satu ketinggian seperti yang dijelaskan di subbab sebelumnya. Spektra energi kinetik rata-rata dari seluruh ketinggian menunjukkan pola yang lebih halus dibandingkan dengan spektra yang diambil pada satu ketinggian tertentu. Hal ini disebabkan spektra yang dihasilkan merupakan spektra di tiap level dirata-ratakan untuk seluruh ketinggian. Pada Gambar 4.4 menunjukkan spektra energi kinetik rata-rata seluruh ketinggian dari Pentad 1 sampai dengan Pentad 5. Dari keseluruhan pentad dapat terlihat bahwa Pentad 3 memiliki energi paling tinggi dibanding pentad lainnya. Hal ini tentunya sesuai dengan kondisi atmosfer pada pentad tersebut yang mendapat pengaruh kuat dari aliran monsun yang melewati ekuator hingga mendekati batas bagian selatan wilayah kajian. Tabel 4.1 menunjukkan besarnya injeksi energi kinetik dari masing-masing pentad di nilai panjang gelombang 1460 km dan bilangan gelombang  $4,3 \times 10^{-6}$  rad/m. Dari injeksi energi kinetik yang dihasilkan dapat tergambar seberapa besar energi dari suatu fenomena yang berperan dalam periode-periode tersebut.

Tabel 4.1 Nilai injeksi energi kinetik pada tiap pentad

<b>Periode</b>	<b>Nilai Energi Kinetik (<math>\text{m}^3/\text{s}^2</math>)</b>
Pentad 1 (21 - 25 Januari 2007)	1.673.757 ( $1,674 \times 10^6$ )
Pentad 2 (26 - 30 Januari 2007)	1.728.788 ( $1,729 \times 10^6$ )
Pentad 3 (31 Januari – 4 Februari 2007)	1.750.382 ( $1,75 \times 10^6$ )
Pentad 4 (5 – 9 Februari 2007)	1.074.950 ( $1,075 \times 10^6$ )
Pentad 5 (10 – 14 Februari 2007)	1.029.188 ( $1,029 \times 10^6$ )



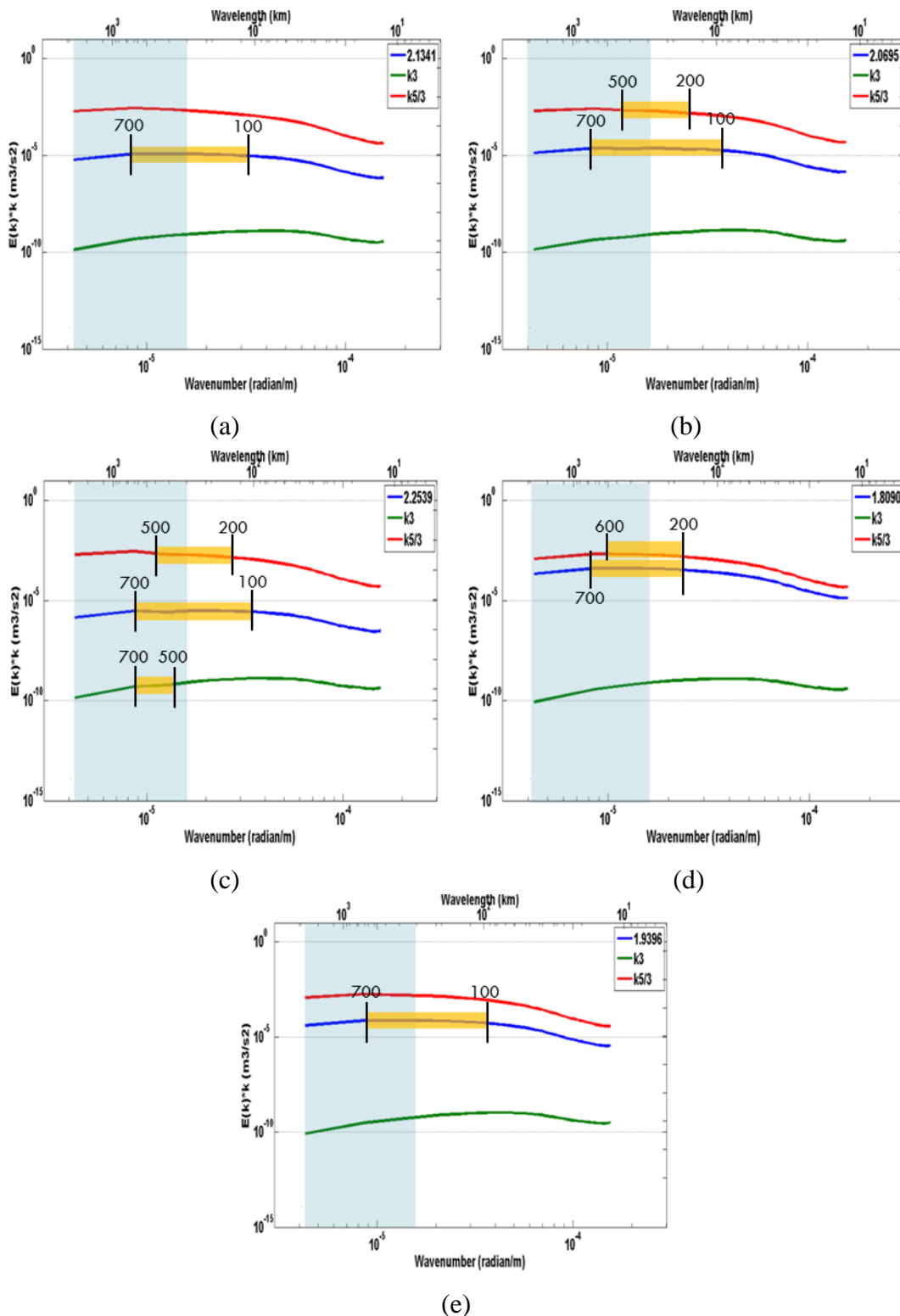
Gambar 4.4. Spektra energi kinetik rata-rata seluruh level ketinggian dengan perbandingan tiap pentad. Garis putus-putus merupakan garis yang dihasilkan dari kemiringan referensi untuk  $k^{-3}$  dan  $k^{-5/3}$  serta kemiringan pada panjang gelombang lebih besar dari 400 km.

Untuk memastikan fenomena yang muncul pada spektra energi kinetik maka perlu dilihat berapakah kemiringan dari spektra di nilai panjang gelombang tertentu. Pada kelima pentad dihasilkan rata-rata kemiringan mendekati -2 pada rentang panjang gelombang 487-1460 km. Tentunya dengan kemiringan tersebut secara rata-rata tidak bisa dikategorikan ke dalam rezim kemiringan skala sinoptik ( $k^{-3}$ ) ataupun skala meso ( $k^{-5/3}$ ). Maka dari itu, kembali dilakukan perkalian dengan nilai positif garis referensi ataupun kemiringan yang didapatkan dari masing-masing spektra (Gambar 4.5). Dari kelima pentad terlihat adanya perbedaan karakteristik spektra dari pentad ke pentad. Pada Pentad 1 kemiringan yang dihasilkan pada panjang gelombang 100-700 km adalah sebesar -2,1341 dan pada periode tersebut belum terlihat adanya pengaruh dari skala sinoptik ataupun meso menilik pada tidak adanya garis lurus yang dihasilkan di garis referensi. Berbeda dengan Pentad 1, spektra yang dihasilkan pada Pentad 2 menghasilkan kemiringan -2.0695 pada rentang panjang gelombang berkisar 100–700 km disertai dengan munculnya rezim  $k^{-5/3}$  (transfer energi ke skala yang lebih besar dari sumber) pada rentang panjang gelombang berkisar 200–500 km. Pada Pentad 3 kemiringan yang dihasilkan adalah -2,2539 mulai dari 100–700 km. Munculnya rezim  $k^{-5/3}$  di

panjang gelombang 200–500 km dan rezim  $k^{-3}$  di panjang gelombang berkisar 500-700 km menjadi ciri khas dari periode ini. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada periode ini terdapat pengaruh dari fenomena sinoptik yang salah satunya adalah seruk dingin kuat sampai ke selatan Pulau Jawa walaupun dari penelitian ini belum dapat dipastikan fenomena sinoptik tersebut adalah seruk dingin. Dari hasil spektra dapat dikatakan bahwa terdapat penyaluran energi dari sumber yang kecil maupun yang besar dengan munculnya rezim kemiringan  $k^{-3}$  dan  $k^{-5/3}$ . Spektra energi kinetik pada Pentad 4 menghasilkan kemiringan sebesar -1,8090 untuk panjang gelombang 200–700 km. Pada periode ini rezim  $k^{-5/3}$  masih muncul pada panjang gelombang 200–600 km. Rezim  $k^{-5/3}$  secara konsisten muncul dari Pentad 2 sampai dengan 4, karena di Pentad 5 kemiringan yang dihasilkan pada rentang 100–700 km hanyalah kemiringan sebesar -1,9396. Pada tabel berikut akan ditampilkan karakteristik dari masing-masing pentad, kemiringan yang dihasilkan beserta skalanya.

Tabel 4.2 Karakteristik spektra pada tiap pentad dan skala panjang gelombang

<b>Periode</b>	<b>Rezim rata-rata</b>	<b>Rentang Panjang Gelombang Rezim <math>k^{-5/3}</math></b>	<b>Rentang Panjang Gelombang Rezim <math>k^{-3}</math></b>
Pentad 1 (21-25 Januari 2007)	-2,1341 (100–700 km)	-	-
Pentad 2 (26-30 Januari 2007)	-2,0695 (100-700 km)	500 – 200 km	-
Pentad 3 (31 Januari–4 Februari 2007)	-2,2539 (100-700 km)	500 – 200 km	700 – 500 km
Pentad 4 (5–9 Februari 2007)	-1,8090 (200-700 km)	600 – 200 km	-
Pentad 5 (10–14 Februari 2007)	-1,9396 (100-700 km)	-	-

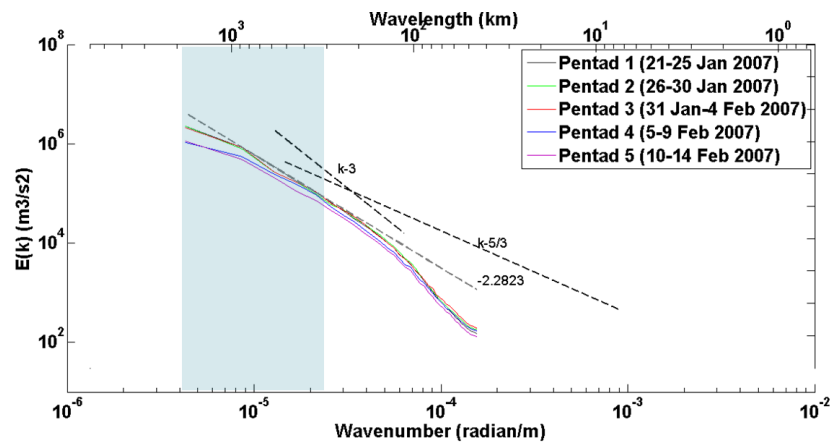


Gambar 4.5. Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik keterangan seperti pada Gambar 4.3 untuk rata-rata seluruh ketinggian di (a) Pentad 1, (b) Pentad 2, (c) Pentad 3, (d) Pentad 4, dan (e) Pentad 5

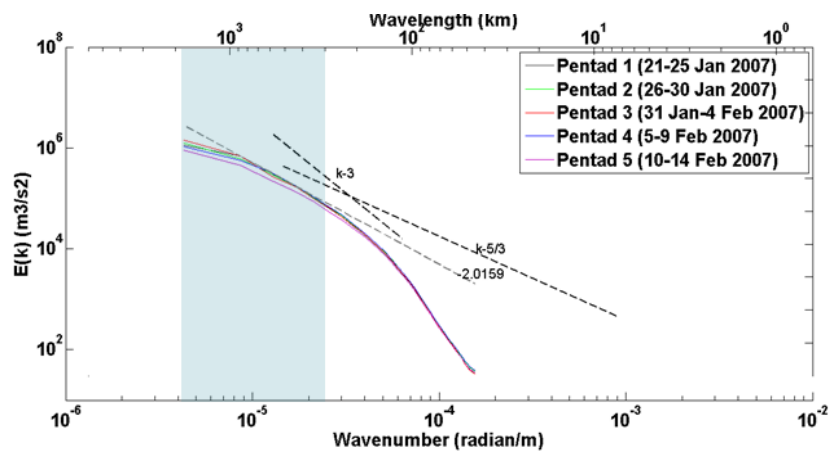
### **4.2.3. Analisis Spektra Energi Kinetik di Berbagai Level Ketinggian**

Analisis spektra energi kinetik untuk wilayah kajian dan karakteristik tiap pentadnya secara umum telah dilakukan. Namun, untuk melihat konsistensi dari karakteristik tersebut, maka perlu dilihat pula perbandingannya dari rata-rata beberapa level ketinggian. Dalam pembagian level ketinggian didasarkan pada hasil *Balloon Sounding* di Bandara Soekarno-Hatta Indonesia pada 1 Februari 2007 Pukul 0000 UTC atau 0700 WIB seperti yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

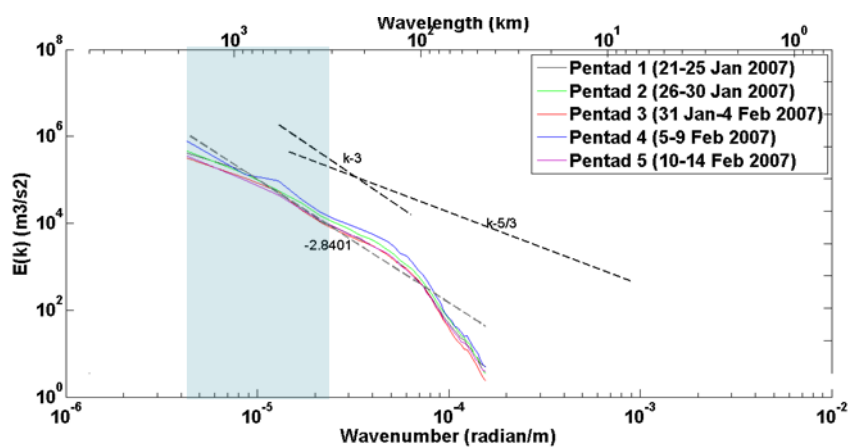
Spektra energi kinetik yang dihasilkan pada beberapa level tekanan ditunjukkan pada Gambar 4.6 dari spektra energi kinetik yang dihasilkan di beberapa level, terlihat adanya konsistensi antara spektra energi kinetik yang dihasilkan untuk rata-rata seluruh ketinggian. Dimana spektra yang dihasilkan untuk panjang gelombang 487-1460 km memiliki kemiringan mendekati -2. Dari ketiga level ketinggian terlihat adanya perbedaan dari tiap pentad ke pentad secara kuantitatif yang tertera pada Tabel 4.3. Namun, perbedaan yang paling mencolok adalah pada troposfer level bawah dimana nilai injeksi energi kinetik di tiap pentadnya memiliki nilai yang jauh berbeda, sehingga analisis selanjutnya akan diarahkan pada perbedaan spektra dari pentad ke pentad pada troposfer level bawah untuk melihat konsistensi karakteristiknya.



(a)



(b)



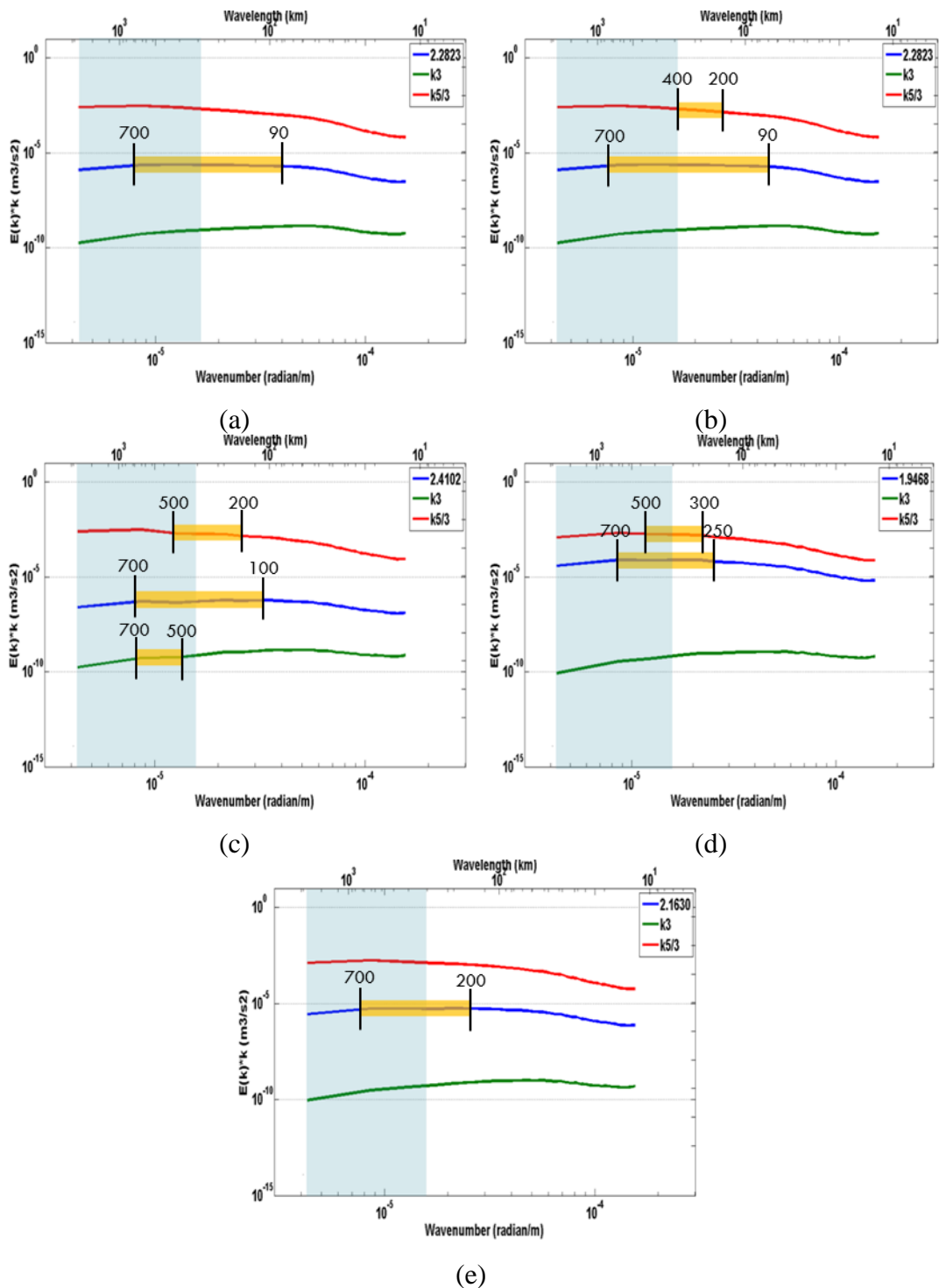
(c)

Gambar 4.6. Spektra energi kinetik rata-rata level ketinggian (a) troposfer level bawah, (b) troposfer level atas, dan (c) stratosfer level bawah. Keterangan yang berlaku seperti pada Gambar 4.4.

Tabel 4.3 Nilai injeksi energi kinetik tiap pentad di troposfer level bawah, troposfer level atas, dan stratosfer level bawah

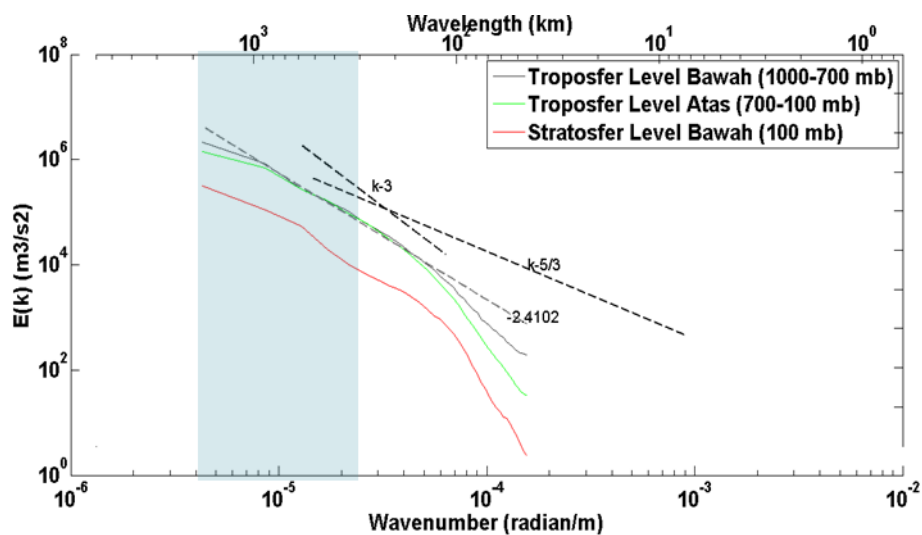
	<b>Troposfer level bawah (<math>\text{m}^3/\text{s}^2</math>)</b>	<b>Troposfer level atas (<math>\text{m}^3/\text{s}^2</math>)</b>	<b>Stratosfer level bawah (<math>\text{m}^3/\text{s}^2</math>)</b>
<b>Pentad 1</b>	2.232.969 (2,232 x 10 <sup>6</sup> )	1.149.740 (1,149 x 10 <sup>6</sup> )	411.800 (0.411 x 10 <sup>6</sup> )
<b>Pentad 2</b>	2.278.987 (2,279 x 10 <sup>6</sup> )	1.243.542 (1,243 x 10 <sup>6</sup> )	455.487 (0.455 x 10 <sup>6</sup> )
<b>Pentad 3</b>	2.142.233 (2,142 x 10 <sup>6</sup> )	1.429.397 (1,429 x 10 <sup>6</sup> )	311.964 (0.311 x 10 <sup>6</sup> )
<b>Pentad 4</b>	1.057.632 (1,058 x 10 <sup>6</sup> )	1.057.709 (1.057 x 10 <sup>6</sup> )	770.074 (0.77 x 10 <sup>6</sup> )
<b>Pentad 5</b>	1.140.562 (1,140 x 10 <sup>6</sup> )	897.749 (0.897 x 10 <sup>6</sup> )	353.428 (0.353 x 10 <sup>6</sup> )

Pada Gambar 4.7. terlihat perbandingan dari pentad ke pentad pada troposfer level bawah. Dari spektra energi kinetik yang dihasilkan di level tersebut terdapat ketersesuaian dengan hasil spektra pada rata-rata seluruh ketinggian. Spektra di keseluruhan pentad memiliki kemiringan mendekati -2 dari 487–1460 km. Dari perbandingan spektra di troposfer level bawah terlihat pola rezim  $k^{-5/3}$  yang bertahan dari Pentad 2 sampai dengan Pentad 4 untuk panjang gelombang lebih kecil dari 400 km dan rezim  $k^{-3}$  yang muncul di panjang gelombang 500–700 km. Artinya pada Pentad 2 sampai dengan 4 sumber energi kinetik yang mendominasi adalah dari sumber yang kecil seperti konveksi dan menyalurkannya pada skala yang lebih besar.



Gambar 4.7. Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik keterangan seperti pada Gambar 4.3 untuk rata-rata pada troposfer level bawah di (a) Pentad 1, (b) Pentad 2, (c) Pentad 3, (d) Pentad 4, dan (e) Pentad 5

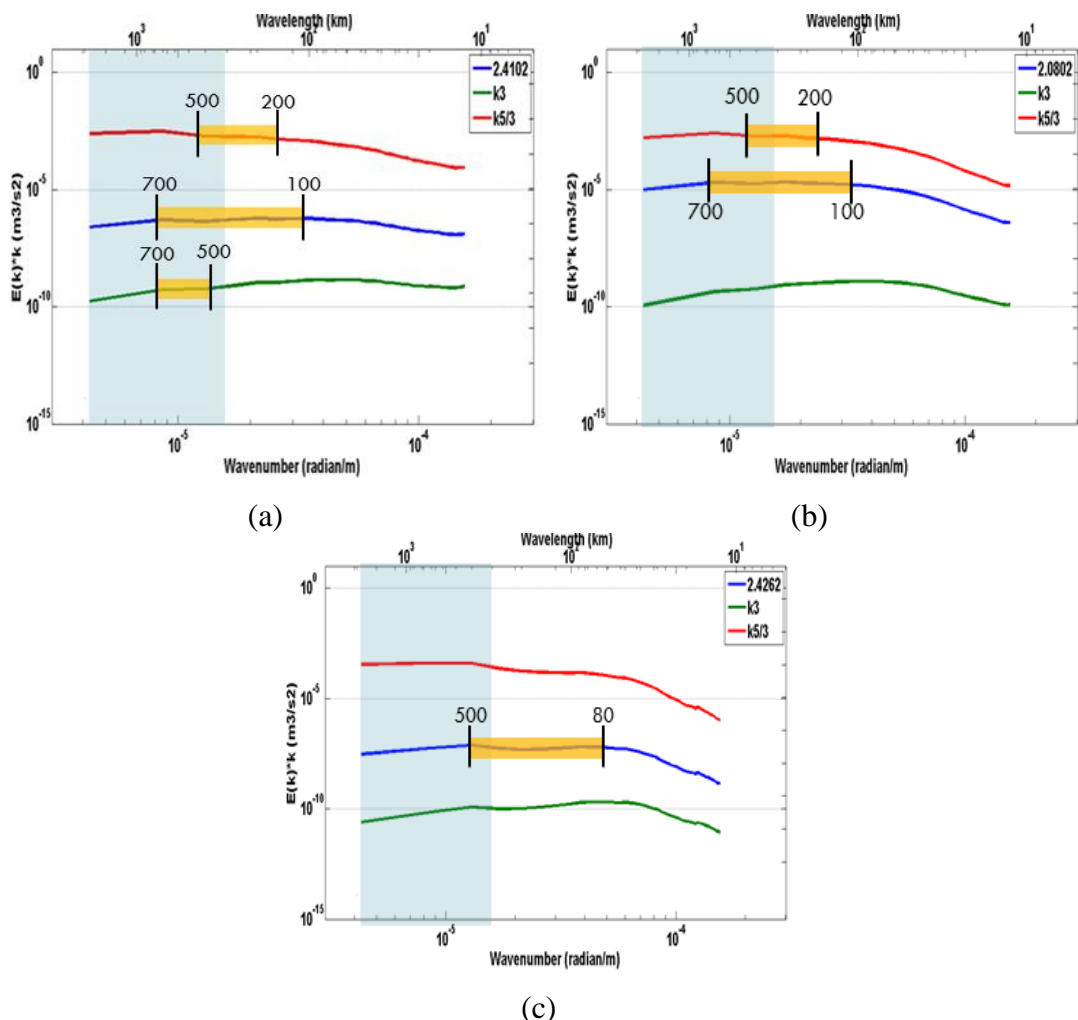
Dari karakteristik spektra energi kinetik yang dihasilkan pada setiap pentadnya, terdapat perbedaan yang mencolok pada spektra yang dihasilkan di Pentad 3. Dinamika atmosfer yang kompleks pada periode ini telah dipaparkan pada poin pertama di bab ini. Untuk melihat dinamika atmosfer pada periode ini, maka perlu dilihat karakter dari spektra energi kinetik yang dihasilkan pada beberapa level ketinggian. Analisis spektra energi kinetik untuk beberapa level ketinggian di Pentad 3 tertuang pada Gambar 4.8. Hasil spektra energi kinetik pada Pentad 3 menunjukkan bahwa injeksi energi kinetik terbesar terjadi pada troposfer level bawah yakni sebesar  $2,28 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^2$ . Nilai injeksi energi di level ini berbeda jauh dengan level lainnya yang memiliki kisaran injeksi energi sebesar  $1,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^2$ .



Gambar 4.8. Spektra energi kinetik rata-rata level ketinggian (a) troposfer level bawah, (b) troposfer level atas, dan (c) stratosfer level bawah pada Pentad 3. Keterangan yang berlaku seperti pada Gambar 4.4.

Pada evaluasi spektra yang dihasilkan di Pentad 3 (Gambar 4.9), karakteristik kemiringan spektra berbeda pada tiap levelnya. Kemunculan rezim  $k^{-3}$  pada panjang gelombang 500–700 km dan rezim  $k^{-5/3}$  pada panjang gelombang 200–500 km hanya terdapat di troposfer level bawah. Troposfer level atas hanya memunculkan pengaruh rezim  $k^{-5/3}$  saja, sedangkan pada stratosfer level bawah tidak terlihat pengaruh dari kedua rezim kemiringan referensi. Perbedaan spektra di beberapa level ketinggian telah dikonfirmasi dengan gambaran kondisi

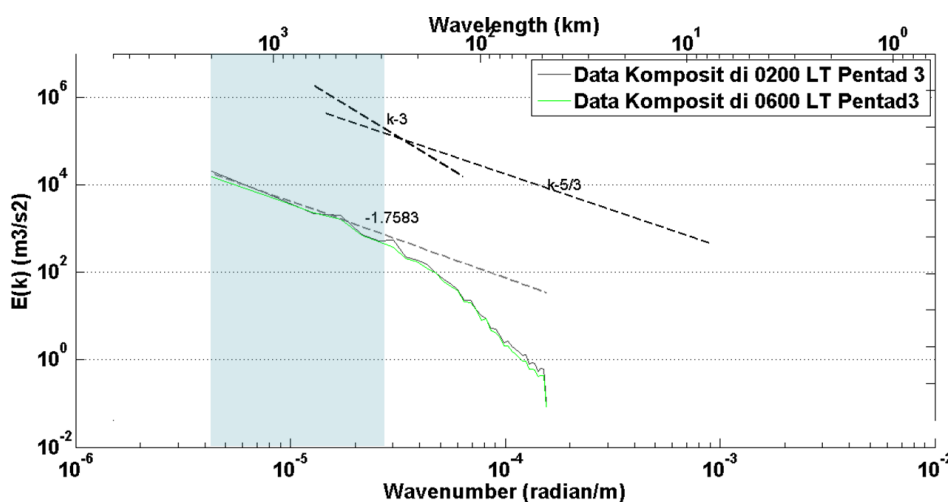
atmosfer yang telah dibahas sebelumnya. Adanya cold surge di level 1000–600 mb membantu peningkatan aktivitas sistem konvektif skala meso di wilayah kajian hanya sampai level ketinggian 400 mb. Hal ini ditandai oleh adanya gerak vertikal angin yang terbatas pada ketinggian tersebut. Sedangkan pada level di atasnya sudah tidak mendapatkan pengaruh dari aktivitas konvektif di troposfer level bawah. Pengaruh aktivitas gelombang tropis pun dapat dirasakan hanya pada level pertengahan dan level atas dari stratosfer yang memang tidak termasuk dalam kajian penelitian ini.



Gambar 4.9. Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik (keterangan seperti pada Gambar 4.3. untuk rata-rata pada Pentad 3 di (a) troposfer level bawah, (b) troposfer level atas, dan (c) stratosfer level bawah.

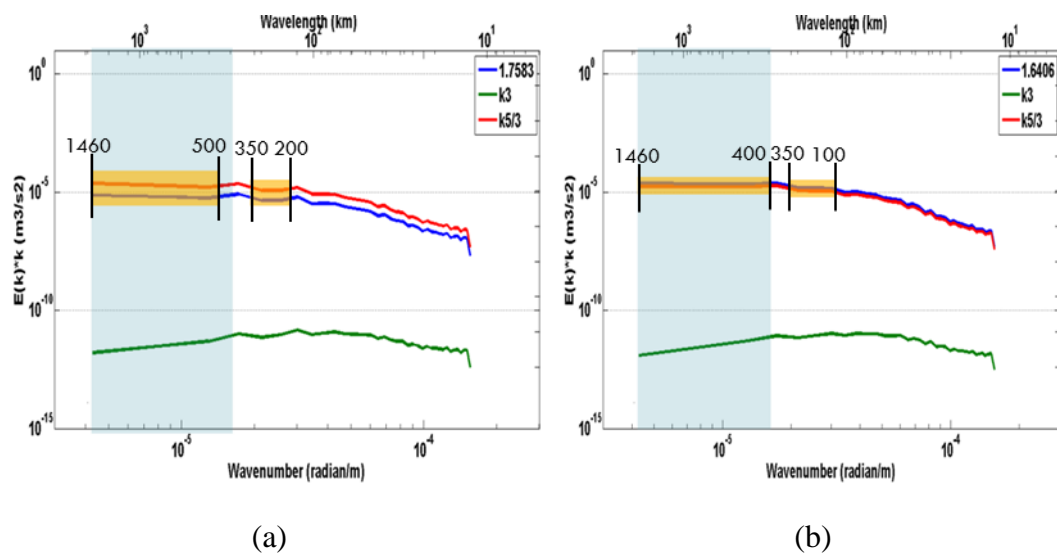
#### 4.2.4. Analisis Spektra Energi Kinetik Pada Puncak Semi Diurnal Pentad 3

Pada periode terjadinya hujan lebat di utara Pulau Jawa bagian barat, terdapat variasi semidiurnal dari presipitasi yang disebabkan oleh sistem konvektif di daratan dan di lautan (Trilaksono dkk., 2011). Puncak kejadian hujan lebat pada wilayah lautan adalah pada pukul 02.00 WIB dan di wilayah daratan pada 05.00-06.00 WIB untuk Pentad 3 (31 Januari-4 Februari 2007). Adanya keterlambatan waktu ini dikarenakan sistem konvektif muncul dari lautan, kemudian didorong oleh aliran monsun yang melewati ekuator. Karenanya sistem konvektif bergerak ke arah selatan hingga kemudian sistem tersebut meningkat pada wilayah daratan karena terhalang oleh topografi. Hal ini menunjukkan bahwa topografi dan sirkulasi lokal sangat berperan dalam pembentukan sistem konvektif di kejadian hujan lebat tersebut. Untuk melihat pengaruh dari fenomena skala sinoptik ataupun skala meso dari puncak presipitasi di periode Pentad 3, maka dilakukan analisis spektra energi kinetik pada pukul 02.00 WIB dan 06.00 WIB (Gambar 4.10) komposit dalam 5 hari dimana keduanya merupakan waktu-waktu terjadinya puncak presipitasi di lautan dan di daratan secara berurutan.



Gambar 4.10. Spektra energi kinetik komposit dari 5 harian di Pentad 3 pada pukul (a) 02.00 WIB puncak presipitasi di lautan dan (b) 06.00 WIB puncak presipitasi di daratan. Keterangan yang berlaku seperti pada Gambar 4.4.

Dari Gambar 4.11a dapat terlihat spektra energi kinetik yang dihasilkan dari kedua waktu. Kedua spektra memiliki rezim kemiringan mendekati  $-1,7$  untuk panjang gelombang 487–1460 km. Pada spektra energi kinetik di 02.00 WIB, terlihat bahwa kemiringan yang dihasilkan untuk skala besar mendekati  $k^{-5/3}$  dan rezim tersebut muncul kembali pada panjang gelombang kisaran 200-350 km. Hasil yang sama ditunjukkan juga oleh spektra energi kinetik pada 06.00 WIB pada Gambar 4.12b yang merupakan puncak presipitasi di lautan dengan kemiringan di skala besar yang lebih landai. Kemunculan rezim  $k^{-5/3}$  dari 400–500 km dan 100–300 km mengindikasikan bahwa energi yang berperan dalam meningkatnya presipitasi secara semidiurnal pada Pentad 3 merupakan energi yang bersumber dari skala yang kecil dalam kasus ini adalah dari sistem konvektif dan disalurkan pada skala yang lebih besar yang ditekankan sebagai fenomena skala meso.



Gambar 4.11. Spektra energi kinetik hasil perkalian energi kinetik (keterangan seperti pada Gambar 4.3 untuk komposit 5 harian pada Pentad 3 di waktu (a) 02.00 WIB puncak presipitasi di daratan dan (b) 06.00 WIB puncak presipitasi di lautan

#### **4.3. Perbandingan Spektra Energi Kinetik Data Model Skala Meso JMA-NHM dengan Teori *Quasi Two-dimensional Turbulence***

Teori *Quasi two-dimensional turbulence* merupakan teori yang berlaku pada hasil spektra energi kinetik data observasi penerbangan GASP oleh Nastrom dan Gage (1984). Pada teori tersebut dijelaskan terkait munculnya rezim  $k^{-3}$  untuk panjang gelombang 1000 – 3000 km dan rezim  $k^{-5/3}$  untuk panjang gelombang di bawah 400 km. Teori ini berhubungan dengan adanya penyaluran energy skala besar secara geostrophic ke skala yang lebih kecil dan juga penyaluran energy ke skala yang lebih besar dari sumber disebabkan oleh ketidakseimbangan baroklinik pada skala mendekati panjang gelombang deformasi *Rossby* (Charney, 1971).

Hasil spektra pada penelitian ini menunjukkan kemiringan mendekati -2 pada spektra di panjang gelombang skala sinoptik yang didefinisikan sebelumnya, yakni untuk skala lebih besar dari 400 km. Hasil ini konsisten pada perbandingan di tiap pentad dan juga ketinggian secara rata-rata, walaupun jika dilihat dari rata-rata di satu waktu hasilnya akan menunjukkan spektra yang lebih landai (Gambar 4.11 dan 4.12). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Xu dkk. (2011) dimana dari spektra yang dihasilkan pada wilayah tropis khususnya di wilayah Samudera Pasifik dan Samudera Atlantik. Walaupun pada penelitian tersebut tidak dibuktikan secara langsung hasil spektra energi kinetik untuk wilayah kajian penelitian ini, namun penelitian tersebut menunjukkan secara teori dan distribusi spasial rezim kemiringan spektra dari berbagai wilayah. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa teori *Quasi Geostrophic Turbulence*, teori yang menjelaskan spektrum  $-5/3$  pada hasil observasi Nastrom dan Gage (1984), berdasar pada sirkulasi skala besar tanpa memperhatikan efek permukaan ataupun kondisi lapisan batas. Ketika spektra energi kinetik yang diperhitungkan berada pada wilayah dengan *Rossby number* yang meningkat maka teori tersebut tak lagi berlaku dan beralih kepada teori *ageostrophic downscale enstrophy cascade* seperti pada teori *stratified turbulence*.

Waite dan Bartello (2006) menjelaskan bahwa pada kondisi *Rossby number* yang melebihi 0.4 maka terdapat transisi dari kondisi *geostrophic* ke *stratified turbulence*. Xu dkk. (2011) menyebutkan variabilitas kemiringan spektra berhubungan dengan tingkatan energi dari aktivitas baroklinik wilayah. Teori yang dijelaskan oleh Charney (1971) terkait *geostrophic turbulence* berdasar pada kondisi baroklinik, dimana aktivitas baroklinik sinoptik ini signifikan di lintang tengah. Sedangkan pada daerah tropis, energi lebih banyak berasal dari skala konvektif dan aktivitas baroklinik skala besarnya lemah dan menyebabkan spektra yang dihasilkan lebih landai dari teori yang digunakan Gage dan Nastrom (1985).

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil analisis spektra energi kinetik terhadap kejadian hujan lebat di wilayah utara Pulau Jawa bagian barat menunjukkan adanya konsistensi spektra yang dihasilkan secara rata-rata dari keseluruhan level ketinggian ataupun dari pentad ke pentad. Rezim kemiringan spektra energi kinetik rata-rata yang dihasilkan mendekati  $-2$  pada panjang gelombang 487-1460 km.

Pada perbandingan tiap pentadnya terlihat bahwa adanya kemunculan rezim  $k^{-5/3}$  yang merupakan rezim skala meso pada panjang gelombang lebih kecil dari 400 km. Kemunculan rezim tersebut adalah pada Pentad 2–4 periode penelitian ini. Kemunculan rezim ini muncul pada level ketinggian troposfer level bawah dan troposfer level atas. Rezim  $k^{-3}$  yang merupakan rezim skala sinoptik menunjukkan eksistensinya pada Pentad 3 di troposfer level bawah yang merupakan periode terjadinya hujan lebat. Pada penelitian sebelumnya telah terbukti bahwa terdapat penjaralan serbuk dingin menuju kearah Pulau Jawa yang ikut berperan dalam kejadian hujan lebat tersebut.

Analisis terhadap waktu-waktu pada puncak semi diurnal dilakukan untuk melihat fenomena apa yang berpengaruh dalam kejadian tersebut dan hasilnya menunjukkan bahwa fenomena skala meso lah yang berperan besar pada variasi semi diurnal saat periode hujan lebat.

Peranan rezim  $k^{-5/3}$  (fenomena skala meso) paling menonjol pada penelitian kali ini karena secara konsisten menunjukkan eksistensinya di sebagian besar periode penelitian. Artinya penyaluran energi pada wilayah kajian didominasi dengan penyaluran energi dari sumber yang kecil ke sumber yang lebih besar.

## **5.2. Saran**

Adapun beberapa saran yang dapat digunakan untuk memperbaiki penelitian mengenai tugas akhir ini adalah:

1. Perlu dilakukan kajian lebih dalam terkait distribusi fluks energi untuk mengetahui seberapa besarkah peranan dari fenomena skala tertentu terhadap kejadian hujan lebat di wilayah utara Pulau Jawa bagian barat
2. Perlu dilakukan kajian menggunakan variabel cuaca lainnya (contohnya temperatur dan temperatur potensial) untuk memastikan karakteristik spektra yang dihasilkan konsisten untuk semua variabel.

## DAFTAR PUSTAKA

Baer, F. 1972. *An alternate scale representation of atmospheric energy spectra*. J. Atmos. Sci. 29, 649-664.

Boer, G. J. 1983. *Homogeneous and isotropic turbulence on the sphere*. J. Atmos. Sci. 40, 154-163.

Boer, G. J. dan T. G. Shephred. 1983. *Large-scale two-dimensional turbulence in the atmosphere*. J. Atmos. Sci. 40, 164-184.

Brune, S. 2012. *Analysis of the Global Spectrum of the Atmospheric Horizontal Kinetic Energy from the Boundary Layer to the Mesopause*. Disertasi Doktor pada Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultat Universitat Rostock: tidak diterbitkan.

Chang, C. P., Harr, P. A., dan Chen, H. J. 2005. *Synoptic Disturbances over the Equatorial South China Sea and Western Maritime Continent during Boreal Winter*. Mon. Wea. Rev. 133.

Charney, J. G. 1971. *Geostrophic turbulence*. J. Atmos. Sci. 28, 1087-1095.

Chen, T. C. dan A. Wiin-Nielsen. 1978. *Non-linear cascades of atmospheric energy and enstrophy in a two-dimensional spectral index*. Tellus. 30, 313-322.

Cho, J. Y. N., R. Newell, dan J. D. Barrick. 1999a. *Horizontal wavenumber spectra of winds, temperature, and trace gases during the Pasific Exploratory*

*Mission: 2. Gravity waves, quasi-two-dimensional turbulence, and vertical modes.*  
J. Geophys. Res. 104, 16 297-16 308.

Cho, J. Y. N dan Coauthors. 1999b. *Horizontal wavenumber spectra of winds, temperature, and trace gases during the Pacific Exploratory Missions: 1. Climatology.* J. Geophys. Res. 104, 5697-5716.

Durrán, D. R., P. A. Reinecke, dan J. D. Doyle. 2012. *Large-Scale Errors and Mesoscale Predictability in Pasific Noerthwest Snowstorm.* J. Atmos. Sci. 70, 1470-1487.

Errico, R. M. 1985. *Spectra Computed from a Limited Area Grid.* Mon. Wea. Rev. 113, 1554-1562.

Gage, K. S. dan Nastrom, G. D. 1985. *Theoretical Interpretation of Atmospheric Wavenumber Spectra of Wind and Temperature Observed by Commercial Aircraft During GASP.* J. Atmos. Sci. 43, 729-739.

Gage, K. S. 1979. *Evidence for a  $k^{-5/3}$  law inertial range in mesoscale two-dimensional turbulence.* J. Atmos. Sci. 36, 1950-1954.

Hamilton, K., Y. O. Takahashi, dan W. Ohfuchi. 2008. *Mesoscale spectrum of atmospheric motion investigated in a very fine resolution global general circulation model.* J. Geophys. Res. 113, D18110, doi:10.1029/2008JD009785.

Kolmogorov, A. N. 1941. *Die lokale Struktur der Turbulenz in einer inkompressiblen zahn Flussigkeit bei-sehr groben Reynoldsschen Zahlen.* Sammelband zur statistichen Theorie der Turbulenz, Akademie-Verlag. 1958, 71-76.

Koshyk, J. N., Boville, B. A., Hamilton, K., Manzini E., dan Shibata, K. 1999. *Kinetic energy spectrum of horizontal motions in middle-atmosphere models. Journal of Geophysical Research.* 104 (D22), 27,177 -27,190.

Koshyk, J. N. dan G. J. Boer. 1995. *Parameterization of dynamical subgrid-scale processes in a spectral GCM.* J. Atmos. Sci. 52, 965-976.

Kraichnan, R. 1967. *Inertial ranges in two-dimensional turbulence.* Phys. Fluids. 10, 1417-1423.

Lindborg, E. 1999. *Can the atmospheric kinetic energy spectrum be explained by two-dimensional turbulence?.* J. Fluid Mech. 388, 259-288.

Lorenz, E. N. 1967. *The nature and theory of the general circulation of the atmosphere.* World Meteorological Organization Report. 218, 161 pp.

Michalakes, J., S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, dan W. Scamarock. 2001. *Development of a next generation regional weather research and forecast model.* Development in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, W. Zwiefelhofer dan N. Kreitz, Eds. World Scientific, 269-276.

Nastrom, G. D., K. S. Gage, dan W. H. Jasperson. 1984. *Kinetic energy spectrum, of large- and mesoscale atmospheric processes.* Nature. 310, 36-38.

Randall, David. A. 2014. Bahan Kuliah: “An Introduction To The General Circulation of the Atmosphere, Chapter 8: Planetary-scale waves and other eddies”. [online]. Tersedia: <http://kiwi.atmos.colostate.edu/group/dave/at605.html> [27 Agustus 2014]

Richardson, L. F. 1922. *Weather Prediction by numerical process*. University Press. 236 pp.

Saito, K., dan Coauthors. 2006. *The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model*. Mon. Wea. Rev. 134, 1266-1298.

Saito, K., J. Ishida., K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita, dan Y. Honda. 2007. *Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA*. J. Meteor. Soc. Japan. 85B, 271-304.

Skamarock, W. C. 2004. *Evaluating Mesoscale NWP Models Using Kinetic Energy Spectra*. Mon. Wea. Rev [Online]. Tersedia: [http://www.mmm.ucar.edu/individual/skamarock/spectra\\_paper+figs.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/individual/skamarock/spectra_paper+figs.pdf) [17 Januari 2014].

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, dan J. Dudhia. 2001. *Prototypes for the WRF (Weather Research and Forecasting) model*. Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, Amer Meteor. Soc., J11-J15.

Stull, R. B. 1988. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Penerbit Kluwer Academic. Dordrecht.

Trilaksono, N. J., S. Otsuka, dan S. Yoden. 2011. *Time-Lagged Ensemble Simulation on the Modulation of Precipitation over West Java in January-February 2007*. Mon. Wea. Rev. 139.

Tucker, D. F., dan N. A. Crook. 1999. *The generation of a mesoscale convective system from mountain convection*. Mon. Wea. Rev. 127. 1259-1273.

Vallis, G. K., G. J. Schutts, dan M. E. B. Gray. 1997. *Balanced mesoscale motion and stratified turbulence forced by convection*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 123, 1621-1652.

Waite, M. L., dan P. Bartello. 2006. *The Transition from Geostrophic to Stratified Turbulence*. J. Fluid Mech. 568, 89-108.

Wu, P., J. Hamada, S. Mori, Y. L. Tauhid, M. D. Yamanaka, dan F. Kimura. 2003. *Diurnal variation of precipitable water over a mountainous area of Sumatra Island*. J. Appl. Meteor. 42, 1107-1115.

Wu, P., M. Hara, H. Fudeyasu, M. D. Yamanaka, J. Matsumoto, F. Syamsudin, R. Sulistyowati, dan Y. S. Djajadihardja. 2007. *The impact of trans-equatorial monsoon flow on the formation of repeated torrential rains over Java Island*. SOLA. 3, 93-96.

Xu, Yongshieng, Fu, Lee-leung, dan Tulloch, Ross. 2011. *The Global Characteristics of the Wavenumber Spectrum of Ocean Surface Wind*. Journal of Physical Oceanography. 41, 1576-1582.