

# Keberadaan Gelombang Kelvin-Atmosfer di atas Bandung

Mulyana Wirasmita<sup>\*)</sup>, Bayong Tjasyono HK<sup>\*\*)</sup>,  
Moch. Erwin Maulana<sup>\*\*\*)</sup>

## ABSTRACT

The research of climate disturbance by using radiosonde data in stratosphere need to be developed. The atmospheric disturbance which was analysed is the wave. Setting meridional wind component to be zero, zonal component will give a disturbance which propagates the phase eastward, the amplitudo decreases exponentially out of equator, and energy is propagated eastward and upward. The disturbance is called as the Kelvin wave.

Analysing radiosonde data obtained from sounding at LAPAN Bandung (6,90 S, 107,600 E) for three months (April – June 1994), it is found two dominant period of Kelvin wave at 50 mb and 30 mb level with the period of zonal wind of 10.5 and 11.6 days, respectively.

## RINGKASAN

Penelitian gejala gangguan iklim dengan menggunakan data radiosonde di stratosfer perlu dikembangkan. Gangguan atmosfer yang diteliti adalah bentuk gelombang. Secara matematis dengan menetapkan komponen angin meridional sama dengan nol, komponen angin zonal memberikan gangguan yang berkecepatan fasa ke arah timur, amplitudonya melemah ketika menjauhi ekuator, dan merambatkan energi ke atas dan ke arah timur. Gangguan tersebut kemudian disebut sebagai gelombang Kelvin.

Dari analisis spektrum angin selama bulan April sampai dengan Juni 1994 di atas Bandung, ditemukan dua periode dominan gelombang Kelvin pada level 50 mb dan 30 mb yang masing-masing berperiode angin zonal 10,5 dan 11,6 hari.

## 1. PENDAHULUAN

Matsuno (1966) ketika menganalisis gerakan quasi-geostropik di daerah ekuator memperlihatkan kemungkinan adanya suatu model gelombang ( $n = -1$ ) yang memiliki pertubasi angin zonal simetris terhadap ekuator dan tanpa adanya komponen kecepatan meridional. Model gelombang tersebut serupa dengan gelombang Kelvin.

Setelah itu, Holton dan Lindzen (1968) memecahkan persamaan momentum terlinierisasi pada bidang- $\beta$  yang dibangun oleh Lindzen (1967). Dalam hal ini kecepatan dalam arah utara-selatan ditetapkan menjadi sama dengan nol dan kemudian mereka mendapatkan solusi gelombang Kelvin. Solusi tersebut

menyatakan bahwa jika gelombang harus meluruh ketika menjauhi ekuator maka kecepatan fasa gelombang harus berarah ke timur. Hal ini dapat disimpulkan bahwa karakteristik gelombang Kelvin selain terperangkap secara ekuatorial yang pertubasinya simetris terhadap ekuator, gelombang tersebut juga mempunyai kecepatan fasa yang berarah ke timur.

Gelombang Kelvin umumnya didefinisikan sebagai gelombang gravitas perairan dangkal (shallow water) yang merambat paralel terhadap garis pantai dan tidak mempunyai komponen kecepatan normal terhadap batas garis pantai. Kondisi terakhir secara tidak langsung menyatakan bahwa gradien tekanan normal terhadap garis pantai menjadi kesetimbangan geostropik dengan medan kece-

<sup>\*)</sup> Peneliti Bidang Standar Atmosfer Puslitbang Pengetahuan Atmosfer - LAPAN  
<sup>\*\*)</sup> Staf Pengajar Jurusan Geofisika & Meteorologi ITB  
<sup>\*\*\*)</sup> Sarjana Geofisika & Meteorologi ITB

patan, yang pada gilirannya haruslah amplitudo gelombang melemah secara eksponensial ketika menjauhi pantai. Pada tinjauan gelombang Kelvin atmosfer maka ekuator memainkan peranan yang serupa dengan garis pantai tersebut. (Holton dan Lindzen, 1968)

Keberadaan gelombang Kelvin di atmosfer telah dibuktikan melalui observasi oleh Wallace dan Gousky (1968). Mereka melakukan studi tersebut didasarkan pada analisis data radiosonde selama enam bulan dari tiga stasiun tropis. Dari studi tersebut tercatat adanya fluktuasi angin zonal yang memiliki perioda rata-rata 15 hari dengan amplitudo antara 8 -12 m detik<sup>-1</sup>. Fluktuasi serupa ditemukan pula pada medan temperatur dengan amplitudo 3-5 °C. Fluktuasi yang teramati tersebut merupakan gelombang Kelvin, yang secara matematis menyatakan satu solusi dari persamaan gelombang pada bidang beta ekuator. Karakteristik observatif lain dari gelombang Kelvin ini adalah perambatan fasa ke bawah dan ke timur, pergerakan dalam arah zonal dan vertikal, tidak mempunyai gerakan meridional. Paling tidak sampai saat ini, gelombang Kelvin berpengaruh terhadap dinamika atmosfer menengah karena gelombang tersebut merambatkan energi ke atas. Hal tersebut diduga kuat telah berkontribusi terhadap mekanisme QBO.

Banyak pendapat yang mencoba menerangkan pembentukan fenomena QBO ini, diantaranya yang paling terkenal adalah teori yang dikemukakan oleh Holton dan Lindzen (1968). Teori ini berdasarkan pada interaksi aliran rata-rata dengan gelombang gravitas (gelombang Kelvin dan gelombang Rossby-Gravitas). Transfer momentum secara vertikal oleh kedua gelombang tersebut diduga berperan dalam mekanisme terjadinya QBO. Sehingga dalam dinamika atmosfer-menengah (daerah antara tropopause dan homopause) kedua gelombang tersebut memainkan peranan yang cukup penting. Uraian mengenai QBO, interaksi antara aliran rata-rata dengan gelombang Kelvin, serta hubungan antara gelombang Kelvin dengan QBO masing-masing dibahas oleh Lindzen dan Holton (1968), Gousky dan Wallace (1971), dan Wallace dan Gousky (1968).

Adapun penelitian ini bertujuan untuk membuktikan secara observatif keberadaan gelombang Kelvin di atas Bandung.

## 2. PERUMUSAN MATEMATIK

Perhatikan kembali persamaan-persamaan momentum, hidrostatis, kekekalan massa dan hukum pertama termodinamika dalam koordinat kartesius dengan koordinat vertikal dinyatakan dalam log-tekanan sehingga membentuk himpunan persamaan

$$\frac{du}{dt} = \beta yv - \frac{\partial \phi}{\partial x}, \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\beta yu - \frac{\partial \phi}{\partial y}, \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = H^{-1} R \theta e^{-z\kappa/H}, \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\lambda_0} \frac{\partial(\lambda_0 w)}{\partial z} = 0, \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = 0, \dots\dots\dots (2-5)$$

dengan,

- $\beta = 2 \Omega / a$
- $u =$  komponen kecepatan zonal
- $v =$  komponen kecepatan meridional
- $\rho_0 =$  densitas
- $p =$  tekanan
- $\Omega =$  kecepatan sudut rotasi bumi
- $a =$  jejari rata-rata bumi
- $\phi =$  geopotensial
- $z =$  ketinggian dalam koordinat log-tekanan
- $H =$  ketinggian skala rata-rata ( $\equiv RT_p / g_0$ )
- $R =$  tetapan gas ideal
- $T =$  temperatur
- $\kappa = R / c_p \approx 2/7$
- $\theta = T e^{z\kappa/H}$  adalah temperatur potensial dalam koordinat log tekanan.

Variabel-variabel dalam himpunan tersebut dipisahkan dengan menggunakan metoda pertubasi, ke dalam bagian *dasar* dan bagian *pertubasi*. Dalam hal ini persamaan-persamaan (2-1) - (2-5) akan dilinierkan di sekitar aliran

dasar  $\bar{u}(y,z)$  sehingga dengan itu  $\bar{v}$  dan  $\bar{w}$  ditetapkan sama dengan nol. Maka diperoleh

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x}\right) v' + \beta y u' + \frac{\partial \phi'}{\partial y} = 0, \dots\dots\dots(2-6)$$

$$\frac{\partial \phi'}{\partial z} = H^{-1} R \theta' e^{-z\kappa/H}, \dots\dots\dots(2-7)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{1}{\lambda_0} \frac{\partial(\lambda_0 w')}{\partial z} = 0, \dots\dots\dots(2-8)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x}\right) \theta' + \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} v' + \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} w' = 0, \dots\dots\dots(2-9)$$

Dengan menghilangkan variabel  $\phi$  pada persamaan (2-2) dan (2-3) maka akan diperoleh persamaan angin termal

$$\beta y \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -H^{-1} R \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} e^{-z\kappa/H}, \dots\dots\dots(2-10)$$

Selanjutnya untuk penyederhanaan ditetapkan  $\bar{u} = 0$ , sehubungan dengan menghilangkan efek geser angin dasar, sehingga berdasarkan persamaan (2-10)  $\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} = 0$ , sedangkan variabel perturbasi temperatur potensial pada persamaan (2-7) dan (2-9) dihilangkan. Semuanya akan membentuk himpunan persamaan (2-6) sampai dengan (2-9) menjadi

$$\frac{\partial u'}{\partial t} - \beta y v' + \frac{\partial \phi'}{\partial x} = 0, \dots\dots\dots(2-11)$$

$$\frac{\partial v'}{\partial t} + \beta y u' + \frac{\partial \phi'}{\partial y} = 0, \dots\dots\dots(2-12)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{1}{\lambda_0} \frac{\partial(\lambda_0 w')}{\partial z} = 0, \dots\dots\dots(2-13)$$

$$\frac{\partial^2 \theta'}{\partial z^2} + N^2 w' = 0, \dots\dots\dots(2-14)$$

dengan  $N^2 = H^{-1} R \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} e^{-z\kappa/H}$  adalah frekuensi apung kuadrat.

Dengan menetapkan  $N = \text{konstan}$  dan diasumsikan perturbasi merupakan gelombang yang merambat dalam arah zonal dan vertikal

dengan bilangan gelombang  $k$  dan  $m$  maka solusi untuk himpunan persamaan di atas dicari dengan bentuk:

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \\ \phi' \end{bmatrix} = e^{z/2H} \text{Re} \begin{bmatrix} \hat{u}(y) \\ \hat{v}(y) \\ \hat{w}(y) \\ \hat{\phi}(y) \end{bmatrix} e^{i(kx+mz-ut)}, \dots\dots\dots(2-15)$$

Substitusikan persamaan (2-15) ke dalam himpunan persamaan (2-11) - (2-14) akan menghasilkan

$$-iu\hat{u} - \beta y \hat{v} + ik\hat{\phi} = 0, \dots\dots\dots(2-16)$$

$$-iv\hat{v} + \beta y \hat{u} + \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial y} = 0, \dots\dots\dots(2-17)$$

$$ik\hat{u} + \frac{\partial \hat{v}}{\partial y} + \frac{1}{\ell_0} (\ell_0 \hat{w}) \left(m - \frac{i}{2H}\right) = 0, \dots\dots\dots(2-18)$$

$$\hat{w} = -\frac{v}{N^2} \left(m - \frac{i}{2H}\right) \hat{\phi}, \dots\dots\dots(2-19)$$

Gelombang Kelvin yang terperangkap di sekitar ekuator memiliki komponen kecepatan meridional yang relatif kecil. Dalam model, hal ini didekati dengan menetapkan  $\bar{v} = 0$  sehingga himpunan persamaan (2-16) - (2-19) menjadi

$$\hat{\phi} = \frac{v}{k} \hat{u}, \dots\dots\dots(2-20)$$

$$\beta y \hat{u} + \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial y} = 0, \dots\dots\dots(2-21)$$

$$ik\hat{u} + \frac{1}{\ell_0} (\ell_0 \hat{w}) \left(m - \frac{i}{2H}\right) = 0, \dots\dots\dots(2-22)$$

$$\hat{w} = -\frac{v}{N^2} \left(m - \frac{i}{2H}\right) \hat{\phi}, \dots\dots\dots(2-23)$$

Substitusikan persamaan (2-20) ke dalam persamaan (2-21) didapat:

$$\alpha(y) = \alpha_0 \exp\left(-\frac{\beta}{2c} y^2\right) \dots\dots\dots(2-24)$$

dengan  $c = v / k$  menyatakan kecepatan fasa zonal gelombang,  $\alpha_0$  merupakan amplitudo gelombang tepat di ekuator, dan persamaan (2-24)

menentukan distribusi meridional dari komponen kecepatan zonal gelombang.

Sedangkan dari hubungan persamaan (2-22) dan (2-23) diperoleh

$$v^2 = \frac{k^2 N^2}{\left(m^2 + \frac{1}{4H^2}\right)} \dots\dots\dots (2-25)$$

Gelombang Kelvin yang diobservasi di stratosfer bawah mempunyai panjang gelombang vertikal yang kurang dari 15 km. Dari hubungan  $m = \frac{2\pi}{\lambda_m}$  diperoleh  $4H^2 m^2 \geq 34$  untuk  $H = 7$  km, sehingga  $m^2 \gg \frac{1}{4H^2}$ . Oleh karena itu untuk gelombang Kelvin tersebut persamaan (2-25) disederhanakan menjadi

$$v = \pm \frac{kN}{m} \dots\dots\dots (2-26)$$

Dari persamaan (2-26) dapat diperoleh komponen vertikal kecepatan grup

$$c_{gz} = \frac{\partial v}{\partial m} = \mu \frac{kN}{m^2} \dots\dots\dots (2-27)$$

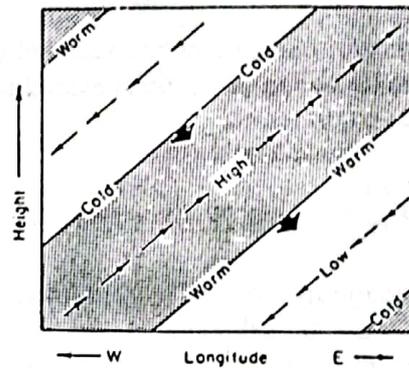
Kecepatan grup merupakan besaran yang menyatakan perambatan energi. Untuk gelombang Kelvin, walaupun belum diketahui secara persis apa yang menjadi sumber energinya, namun dipastikan bahwa sumber energi gelombang tersebut berasal dari troposfer. Sedangkan gelombang ini muncul di daerah stratosfer karena keberadaannya yang tergantung pada kestabilan statik atmosfer. Oleh karena itu terjadi perambatan energi ke atas dari troposfer ke stratosfer. Secara matematis hal tersebut dihubungkan dengan pemilihan akar positif dari persamaan kecepatan grup. Sehingga untuk gelombang Kelvin diperoleh kecepatan grup

$$c_{gz} = \frac{\partial v}{\partial m} = \frac{kN}{m^2} \dots\dots\dots (2-28)$$

dan oleh karenanya

$$v = -\frac{kN}{m} \dots\dots\dots (2-29)$$

Agar pada persamaan (2-24) memperoleh persamaan yang meluruh dalam arah menjauhi ekuator maka haruslah pangkat eksponen dalam persamaan tersebut dipertahankan tetap menjadi negatif. Hal tersebut dilakukan dengan memilih  $c = \frac{v}{k} > 0$  yang secara fisis menyatakan perambatan fasa ke arah timur. Hal tersebut secara tidak langsung telah mengambil nilai bilangan gelombang zonal yang positif ( $k > 0$ ). Selanjutnya agar perambatan fasa zonal ke timur tersebut tetap terpenuhi maka bilangan gelombang zonal vertikal,  $m$ , dalam persamaan (2-29) di atas harus dipilih negatif ( $m < 0$ ).



Gambar 2-1: BAGIAN VERTIKAL SEPANJANG SUATU LINTANG YANG MENUNJUKAN USUKAN TEKANAN, TEMPERATUR, DAN ANGIN DALAM KASUS GELOMBANG KELVIN. PANAH TEBAL-PENDEK MEHUNJUKAN PERAMBATAN FASA. (WALLACE, AND ROUSKY, 1968)

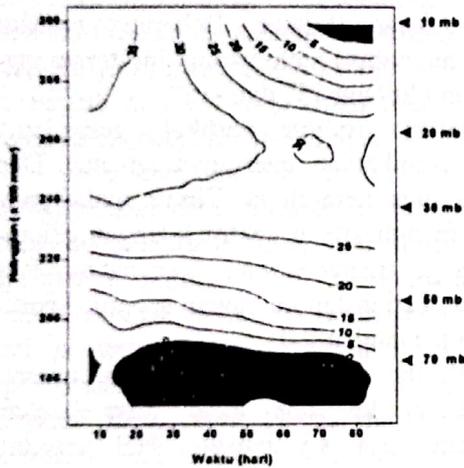
Oleh karena itu dengan mengambil  $k > 0$  dan  $m < 0$  maka permukaan fasa konstan,  $kx + mz - \omega t$ , untuk gelombang Kelvin akan serong ke timur terhadap ketinggian dan bergerak turun terhadap waktu (ditunjukkan dalam Gambar 2-1).

Pada Gambar 2-1 tersebut, arah perambatan fasa, yang merupakan jumlah vektor bilangan gelombang  $k$  dan  $m$ , berarah ke timur serong ke bawah. Adapun energi yang dirambatkan oleh gelombang, yang dalam hal ini merupakan jumlah vektor dari komponen kecepatan grup zonal dan vertikal, akan berarah ke atas dan sekaligus tegak lurus terhadap arah perambatan fasa, sehingga akan sejajar dengan pertubasi. Hal tersebut, berlawanannya arah perambatan antara fasa dan energi, secara matematis merupakan konsekuensi dari hubungan antara kecepatan grup dengan frekuensi yang dinyatakan oleh persamaan (2-28) dan (2-29).

### 3. PENGOLAHAN DATA

Data yang diolah adalah data radio-sonde hasil peluncuran di LAPAN Bandung ( $6,90^{\circ}$  LS dan  $107,60^{\circ}$  BT) selama bulan April sampai dengan Juni 1994. Dalam pengolahan data faktor angin dihitung komponen barat-timur (zonal) dan komponen utara-selatan (meridional). Untuk komponen angin zonal dibuat gambar konturnya dengan sumbu-x sebagai waktu dalam harian, dan sumbu-y sebagai ketinggian (Gambar 3-1)

Dari Gambar 3-1 terungkap adanya komponen angin baratan (W) dan angin timuran (E) pada setiap ketinggian. Untuk ketinggian 70 mb setara dengan ketinggian 18,6 km. Dan selanjutnya berurutan untuk 50, 30, 20, dan 10 mb masing-masing akan setara dengan ketinggian 20,6; 23,7; 26,3 dan 30,9 km.

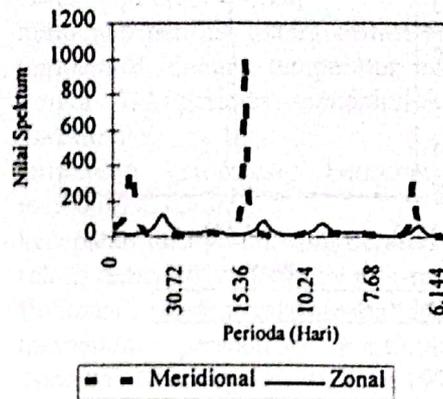


Gambar 3-1 : KONTUR ANGIN ZONAL PADA KETINGGIAN ANTARA 70-10 MB SELAMA PENELITIAN. DAERAH DIARSIR MENUNJUKAN DAERAH ANGIN BARATAN (WESTERLY). ANGKA PADA KONTUR MENYATAKAN AMPLITUDO DALAM m/DET.

Pada Gambar 3-1 terlihat bahwa pada sekitar level 70 mb merupakan daerah tropopaus yang mempunyai pusat-pusat angin baratan. Sedangkan dari tropopaus sampai sekitar ketinggian 30 mb merupakan daerah angin timuran (*easterly*) dengan amplitudo yang bertambah besar terhadap ketinggian. Di antara level 30 dan 20 mb terdapat pusat angin timuran.

Sedangkan di antara level 20 dan 10 mb amplitudo angin berubah terhadap waktu, hal tersebut menunjukkan di antara level tersebut angin timuran melemah. Di sekitar level 10 mb

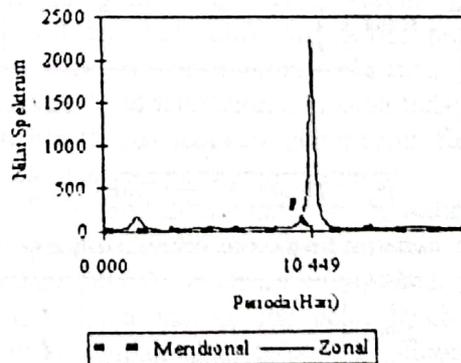
tampak bahwa angin timuran melemah kemudian berubah menjadi angin baratan.



Gambar 3-2 : SPEKTRUM DAYA ANGIN PADA LEVEL 70 MB

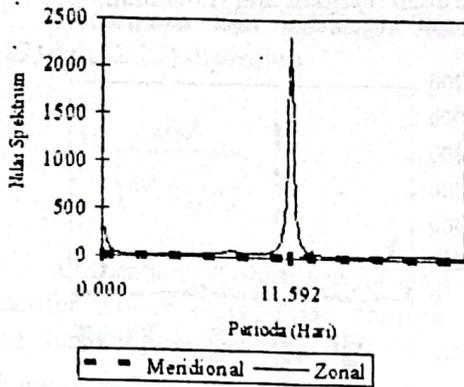
Analisis spektrum daya angin diperlihatkan pada Gambar 3-2. untuk level 70 mb. Pada level ini spektrum daya angin zonal tidak menunjukkan puncak yang berarti dibandingkan dengan puncak spektrum daya angin meridionalnya.

Untuk level 50 mb pada Gambar 3-3 terdapat puncak spektrum angin zonal yang ekstrim dengan perioda sekitar 10,5 hari. Sedangkan untuk angin meridionalnya, puncak spektrum yang terjadi jauh lebih kecil dibandingkan dengan puncak spektrum komponen zonalnya.



Gambar 3-3 : SPEKTRUM DAYA ANGIN PADA LEVEL 50 MB

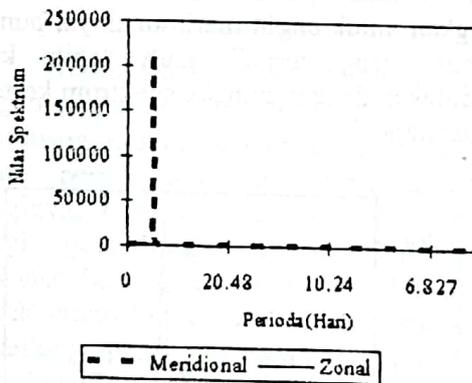
Begitu pula pada level 30 mb (Gambar 3-4) terdapat puncak spektrum angin zonal yang ekstrim dengan perioda sekitar 11,6 hari. Seperti halnya pada level 50 mb, puncak spektrum daya komponen zonal ini relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan puncak spektrum pada komponen meridionalnya.



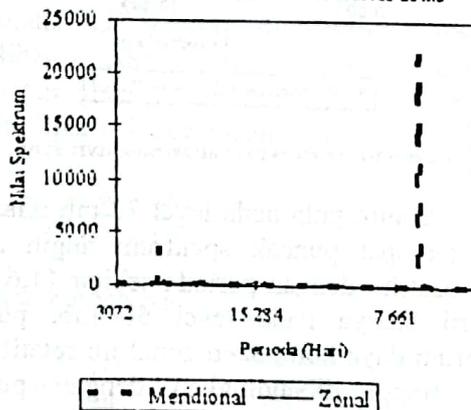
Gambar 3-4 : SPEKTRUM DAYA ANGIN PADA LEVEL 30 MB

Pada level 20 mb (Gambar 3-5) tidak terdapat puncak spektrum yang ekstrim pada komponen angin zonalnya. Namun pada komponen meridionalnya didapat puncak spektrum yang ekstrim.

Sedangkan pada level 10 mb (Gambar 3-6), dibandingkan dengan komponen meridionalnya, juga tidak terdapat puncak spektrum yang ekstrim pada komponen zonal.



Gambar 3-5 : SPEKTRUM DAYA ANGIN PADA LEVEL 20 MB



Gambar 3-6 : SPEKTRUM DAYA ANGIN PADA LEVEL 10 MB

Secara keseluruhan dari level 70 mb sampai dengan 10 mb, maka puncak spektrum angin zonal yang ekstrim hanya terdapat pada level 50 mb dan 30 mb dengan masing-masing periode 10,5 dan 11,6 hari.

Pada kedua level inipun tampak bahwa komponen angin meridional tidak memiliki puncak spektrum yang ekstrim relatif terhadap komponen angin zonalnya.

#### 4. PEMBAHASAN

Dijelaskan kembali bahwa jika dalam struktur meridional (2-24) harus mempunyai solusi yang meluruh terhadap ekuator maka kecepatan fasa gelombang harus berarah ke Timur. Oleh karena itu dari sini diperoleh pengertian bahwa gelombang Kelvin berkecepatan fasa ke arah Timur dan terperangkap di sekitar ekuator. Beberapa peneliti mengatakan bahwa gelombang ini terperangkap diantara lintang  $15^\circ$  dan  $-15^\circ$ .

Dalam struktur vertikal, gelombang Kelvin merambatkan energinya ke atas. Dan karena ia juga berarah ke Timur maka pada akhirnya menghasilkan vektor bilangan gelombang yang menyebabkan kecepatan fasa berarah ke Timur dan ke bawah seperti diperlihatkan pada Gambar 2-1.

Jelaslah dalam hal ini bahwa perambatan energi ke atas akan menyebabkan perambatan fasa ke bawah. Hal tersebut merupakan salah satu sifat khas dari gelombang atmosfer yang menjalar dalam arah horizontal dan vertikal (Kato, 1995).

Karena atmosfer tidak mempunyai batas atas (tidak seperti lautan) maka gelombang yang dibangkitkan dapat menjalar ke atmosfer yang sangat tinggi. Sehubungan dengan itu gelombang Kelvin dapat melahirkan sebuah mekanisme penting bagi pertumbuhan percepatan baratan (dari barat) dalam QBO (Holton dan Lindzen, 1968).

Lindzen dan Holton (1968) memperkenalkan model QBO tersebut berdasarkan interaksi antara perambatan vertikal, gangguan gelombang ekuator, dan aliran zonal rata-rata. Model ini mempostulatkan suatu sumber energi mantap (terus-menerus) yang memasuki stratosfer ekuator dari bawah. Setiap mode

gelombang akan menembus ke atas sampai bertemu dengan level kritis. Pada level tersebut, frekuensi pergeseran Doppler,  $v - kU$ , menuju nol dan energi gelombang diserap oleh aliran zonal. Karena gelombang Kelvin merambat ke Timur relatif terhadap aliran zonal rata-rata., maka lapisan kritisnya harus berada dalam daerah geseran baratan. Oleh karena itu, dapat dikatakan di sini bahwa dengan sifatnya yang seperti itulah gelombang Kelvin mempengaruhi dinamika atmosfer menengah.

Secara teori, dikatakan sekali lagi, gelombang Kelvin merupakan salah satu solusi yang muncul dari gelombang planeter di bidang- $\beta$  ekuator ketika komponen kecepatan meridional ditetapkan sama dengan nol. Selanjutnya, telah ditunjukkan, gelombang Kelvin secara matematis mempunyai karakteristik di antaranya dalam struktur meridional amplitudo gelombang akan melemah ketika ia menjauhi ekuator, sedangkan dalam struktur vertikalnya ia mempunyai kecepatan fasa yang ke bawah dan ke timur dan tidak memiliki komponen kecepatan meridional.

Wallace dan Kousky (1968), dengan menggunakan data radiosonde di tiga stasiun tropis selama enam bulan, menemukan bahwa terdapat gangguan yang mempunyai karakteristik sebagai berikut perioda gelombang 15 hari, perambatan fasa ke timur dan ke bawah, tipe gerakan zonal dan vertikal, amplitudo gerakan zonal  $8 - 12 \text{ m det}^{-1}$ , dan tidak memiliki gerakan meridional. Mereka menyimpulkan bahwa gangguan tersebut merupakan gelombang Kelvin yang terjadi di sekitar stratosfer -bawah karena ia memiliki kemiripan karakteristik dengan apa yang diramalkan oleh teori.

Lebih lanjut, hasil observasi di stratosfer, gelombang Kelvin ditemukan dengan bilangan gelombang zonal 1 dan 2 mempunyai perioda 10 - 20 hari serta panjang gelombang vertikal 6 - 12 km. (Wallace [1973], Holton [1980]). Hubungan fasa antara usikan kecepatan zonal, kecepatan vertikal, tekanan dan temperatur merupakan mode gelombang gravitas internal yang merambat ke timur.

Oleh karena itu suatu gangguan dapat diidentifikasi sebagai gelombang Kelvin jika:

- 1) terdapat puncak spektrum angin zonal dan temperatur dalam rentang perioda 10 - 20 hari dan tidak memiliki puncak spektrum untuk angin meridional,
- 2) hubungan penting antara osilasi angin dan temperatur, dengan temperatur maksimum terjadi  $1/4$  perioda mendahului baratan maksimum,
- 3) amplitudo gelombang berkurang ketika menjauhi ekuator,
- 4) kecepatan fasa gelombang berarah ke timur relatif terhadap angin zonal rata-rata,
- 5) fluktuasi gangguan angin zonal dan vertikal memenuhi persamaan kontinuitas dua dimensi. (Kousky dan Wallace 1971).

Dalam penelitian ini, dari hasil analisis spektrum daya angin di atas, gelombang Kelvin terjadi pada level 50 mb dan 30 mb. Karena, seperti telah ditunjukkan, pada kedua level ini terdapat puncak spektrum angin zonal yang ekstrim dengan perioda masing-masing 10,5 dan 11,6 hari dan juga tidak ditemukan puncak spektrum pada komponen meridionalnya. Selain itu jika diperhatikan kembali kontur angin zonal (Gambar 2-1), daerah di antara kedua level ini memiliki amplitudo yang berubah terhadap ketinggian, angin bergerak turun terhadap waktu, dan juga ia bergerak timuran.

Adapun pada level 70 mb jelas tidak akan terjadi gelombang Kelvin karena selain pada level tersebut tidak ditemukan puncak spektrum angin zonal yang ekstrim, juga karena pada level tersebut angin yang terbentuk adalah baratan, sedangkan gelombang Kelvin hanya akan terjadi pada angin timuran.

Pada level 20 mb dan 10 mb, walaupun angin yang terjadi adalah timuran, tidak ditemukan puncak spektrum angin zonal yang ekstrim. Oleh karena itu pada level-level tersebut pun tidak akan terbentuk gelombang Kelvin.

## 5. KESIMPULAN

Dengan menetapkan komponen kecepatan meridional sama dengan nol maka, secara matematis, diperoleh suatu gangguan gelombang yang mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- a) amplitudo gelombang berkurang terhadap ekuator,
- b) kecepatan fasa yang berarah ke timur dan ke bawah,
- c) kecepatan grup, yang merepresentasikan energi, bergerak ke timur dan ke atas.

Gangguan tersebut mengarah sebagai gelombang Kelvin. Dalam penelitian ini, untuk perioda bulan April - Juni tahun 1994 di atas Bandung gelombang Kelvin terbentuk antara level ketinggian 50 dan 30 mb dengan masing-masing perioda sekitar 10,5 dan 11,6 hari.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Holton, J. R. and Lindzen, R. S., 1968, *A Note on "Kelvin" Waves in The Atmosphere*, Monthly Weather Review, vol. 96, hal. 385-386.
2. Holton, 1980, *Wave Propagation and Transport in The Middle Atmosfer*, Phil. Trans. R. Soc. Lond.
3. Kato, Susumo & Tri Wahyu Hadi, 1998, *Atmosfer Bumi dan Dinamikanya: Sirkulasi gelombang dan elektro-dinamika*, Penerbit ITB.
4. Kousky, V. E, and Wallace, J. M., 1971, *On the Interaction Between Kelvin Wave and the Mean Zonal Flow*, Journal of The Atmospheric Science, vol. 28, hal. 162-169.
5. Lindzen, Richard S., 1967, *Planetary Waves on Beta-Planes*, Monthly Weather Review, vol. 95, hal. 441-451.
6. Lindzen, Richard S., Holton, James R., 1968, *A Theory of the Quasi Binnial Ocillation*, Journal of The Atmospheric Sciences, vol. 25, hal. 1095-1107.
7. Matsuno, T., 1966, *Quasi-Geostrophic Motions in the Equatorial Area*, Journal of the Meteorological Society of Japan, vol. 44, hal. 25-43.
8. Wallace, J. M. and Kousky, V. E., 1968, *Observational Evidence of Kelvin Waves in the Tropical Stratosphere*, Journal of The Atmospheric Science, vol. 25, hlm. 900-907.
9. Wallace, J. M. and Kousky, V. E., 1968, *On the Relation Between Kelvin Waves and the Quasi-Biennial Oscillation*, Journal of the Meteorological Society of Japan, vol. 45, hal. 496 - 502.