

## Kajian beberapa karakteristik siklon tropis (kasus topan Choi-wan dan Nida di lautan Pasifik Utara bagian barat)

### *Study of some tropical cyclones characteristics (case Typhoon Choi-wan and Nida over Western North Pacific ocean)*

Putri Asrianti<sup>\*1</sup>, Ahmad Bey<sup>2</sup>, Yopi Ilhamsyah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Meteorologi Terapan, Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor; <sup>2</sup>Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor; <sup>3</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Koordinator Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.  
\*Email korespondensi: putri.asrianti@gmail.com

**Abstract.** The objective of the research is to analyze the frequency of Tropical Cyclone between 2007-2011 and to analyze Typhoon Choi-wan and Typhoon Nida. Geographical location of the research is between 30-195E, 15-180W dan 60-60N. Tropical cyclone is a cyclonic originates from tropical oceans and is driven principally by heat transfer from the ocean. Tropical region is an area that receives more intensive solar radiation, so that sea surface temperature is relatively higher than in the pole. High sea surface temperature drive then a low pressure to form which can lead to tropical cyclone that begins with a tropical disturbance and tropical depression, tropical storms and then tropical cyclones. Frequencies of Tropical cyclone occurrences over northern hemisphere are 320 events which are higher than frequencies of tropical cyclone over southern hemisphere, i.e., 132 occasions. Tropical cyclones are analogues to Carnot heat engines. The size of the energy can be expressed as the total entropy  $s$  per unit of air mass and its mechanical energy. Carnot cycle is a closed process. During the cycle entropy is produce near sea level where the sea surface temperature is warm and it will be loss near the top of the clouds where the temperature is cold. Carnot cycle in tropical cyclones can produce mechanical energy. Typhoon Choi-wan and Nida produced mechanical energy of 14790.72 J/kg and 13297.28 J/kg, respectively.

**Keywords :** Carnot cycle; Mechanical energy; Tropical cyclone

**Abstrak.** Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis frekuensi kejadian siklon tropis antara tahun 2007-2011 dan menganalisis Topan Choi-wan dan Topan Nida. Domain geografi pada penelitian ini yaitu 30-195°BT, 15-180°BB dan 60-60°LU. Siklon tropis adalah gerakan siklonik yang berasal dari lautan tropik dan digerakkan oleh transfer panas dari lautan. Daerah tropika merupakan daerah yang lebih intensif menerima radiasi matahari, sehingga suhu permukaan laut di daerah tropika lebih tinggi daripada di daerah kutub. Ketika suhu permukaan laut tinggi maka terbentuk pusat tekanan rendah yang dapat memicu terjadinya siklon tropis yang dimulai dengan gangguan tropis lalu depresi tropis, badai tropis selanjutnya terjadi siklon tropis. Frekuensi kejadian siklon tropis di BBU adalah 320 kejadian lebih besar daripada frekuensi kejadian siklon tropis di BBS yaitu 132 siklon tropis. Siklon tropis dianalogikan sebagai mesin Carnot. Ukuran dari energi dapat dihitung melalui total entropi  $s$  per unit masa udara dan energi mekanik dari siklon tersebut. Siklus Carnot merupakan proses tertutup. Selama siklus tersebut berlangsung entropi diperoleh dekat permukaan laut dengan suhu yang hangat, dan entropi dapat hilang di dekat awan bagian atas karena suhu awan semakin dingin. Siklus Carnot pada siklon tropis dapat menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik siklon tropis Choi-wan yaitu 14790,72 J/kg dan siklon tropis Nida yaitu 13297,28 J/kg.

**Kata kunci :** Siklus Carnot; Energi mekanik; Siklon tropis

### Pendahuluan

Sebagian besar wilayah permukaan bumi adalah lautan. Sirkulasi lautan saling berhubungan dengan sirkulasi atmosfer, keduanya mengalami interaksi fisik terutama di permukaan laut. Daerah tropika merupakan daerah yang lebih intensif menerima radiasi matahari dan menerima dua kali penyinaran matahari yang tegak lurus, sehingga suhu permukaan laut di daerah tropika lebih tinggi daripada di daerah kutub. Ketika suhu permukaan laut tinggi maka terbentuk pusat tekanan rendah yang dapat memicu

terjadinya siklon tropis yang dimulai dengan gangguan tropis lalu depresi tropis, badai tropis selanjutnya terjadi siklon tropis (Emanuel, 1988).

Siklon tropis merupakan badai yang berasal dari lautan tropis yang dipicu oleh perpindahan panas dari lautan. Siklon tropis terbentuk di atas lautan dengan suhu permukaan laut lebih dari  $26^{\circ}\text{C}$  dan jarang terbentuk pada lintang kurang dari  $5^{\circ}$  (Emanuel, 2003). Struktur siklon tropis meliputi mata, dinding mata, *rainbands* (kumpulan hujan), *boundary layer inflow*, *upper tropospheric outflow*. Siklon tropis memerlukan lautan tropis yang hangat dan lembab sehingga menyebabkan adanya pusat tekanan rendah yang berputar secara siklonik dengan gerak angin berlawanan dengan arah jarum jam (*counterclockwise*) pada Belahan Bumi Utara (BBU) dan searah jarum jam pada Belahan Bumi Selatan (BBS) serta menyebabkan massa udara berputar dan terangkat. Siklon tropis merupakan salah satu peristiwa meteorologi yang merusak dan dapat menghasilkan angin kencang yang membahayakan, *storm surge* yaitu gelombang yang besar yang dapat menghancurkan kehidupan di wilayah pesisir, hujan lebat dan banjir serta kerugian ekonomi yang besar dan mengancam jiwa.

Di seluruh permukaan bumi, rata-rata terbentuk sekitar 80 siklon tropis setiap tahun dengan kecepatan angin melebihi 20 m/detik. Dari jumlah ini, lebih dari setengahnya mencapai kekuatan *hurricane*. Lebih dari dua-pertiga diantaranya terjadi di BBU, sekitar setengah dari jumlah ini terjadi di atas Lautan Pasifik Utara bagian barat (Llyod dan Vecchi, 2011), sekitar seperempat di atas Lautan Pasifik Utara bagian timur, sekitar seperenam di atas Lautan Atlantik Utara dan sekitar seperdelapan di atas Lautan Hindia Utara. Diantara siklon yang terjadi di BBS, hampir setengahnya terbentuk di atas perairan sebelah utara Australia, sepertiga di atas Lautan Indonesia Selatan, dan seperempat di atas Lautan Pasifik Selatan (Neiburger, 1995). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis siklon tropis yang terjadi di Lautan Pasifik bagian barat. Selain itu, penelitian sebelumnya oleh Mustika (2008) pada tahun 1994-2006 mengatakan bahwa kejadian siklon tropis di lintang utara lebih banyak dibandingkan di lintang selatan sehingga perlu dilakukan analisis kejadian siklon tropis terbaru yaitu dari tahun 2007 hingga 2011. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik frekuensi kejadian siklon tropis di BBU dan BBS dan menganalisis Topan Choi-wan dan Topan Nida Tahun 2009. Dua Topan tersebut merupakan badai dengan intensitas yang cukup tinggi yang terjadi pada musim yang berbeda sehingga sangat ideal untuk dijadikan studi kasus dari penelitian ini.

## Bahan dan Metode

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini diperoleh dari situs <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php> berupa data kejadian siklon tropis per-enam jam dari bulan Januari 2007 hingga Desember 2011. Data kejadian siklon tropis per-enam jam pada tahun 2007-2011 disusun berdasarkan nama siklon dan waktu kejadiannya serta lokasi tempat terjadinya siklon berdasarkan wilayah lautan, sehingga setiap siklon dapat diketahui posisi lintang waktu terjadinya siklon tropis.

Setelah data kejadian siklon disusun dan dikelompokkan maka data tersebut dipisahkan menjadi siklon tropis yang terjadi di BBU dan di BBS. Wilayah kajian BBU meliputi wilayah Atlantik, Pasifik Timur, Pasifik Barat dan Hindia Selatan. Wilayah kajian BBS meliputi wilayah Pasifik Selatan dan Hindia Selatan. Setiap kejadian siklon tropis diurutkan berdasarkan waktu kejadiannya untuk setiap bulan dari tahun 2007-2011, sehingga diketahui frekuensi bulan yang sering terjadi siklon tropis, selain itu diperoleh pula umur siklon tropis yang paling lama dan paling cepat hilangnya.

Data kejadian siklon tropis yang diamati pada penelitian ini termasuk dalam kategori depresi tropis, badai tropis, dan siklon tropis. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data 6 jam-an selama 5 tahun dari bulan Januari 2007 hingga bulan Desember 2011 pada wilayah Atlantik ( $15-105^{\circ}\text{BB}$ ,  $0-60^{\circ}\text{LU}$ ), wilayah Pasifik Timur ( $80-175^{\circ}\text{BB}$ ,  $0-60^{\circ}\text{LU}$ ), wilayah Pasifik Barat ( $100-195^{\circ}\text{BT}$ ,  $0-55^{\circ}\text{LU}$ ), wilayah Pasifik Selatan ( $115-180^{\circ}\text{BT}$ ,  $155-180^{\circ}\text{BB}$ ,  $0-60^{\circ}\text{LS}$ ), wilayah Hindia Selatan ( $30-120^{\circ}\text{BT}$ ,  $0-60^{\circ}\text{LS}$ ) dan wilayah Hindia Utara ( $40-110^{\circ}\text{BT}$ ,  $00-60^{\circ}\text{LU}$ ). Jadi secara keseluruhan letak geografi yang diamati pada penelitian ini yaitu  $30-195^{\circ}\text{BT}$ ,  $15-180^{\circ}\text{BB}$  dan  $60-60^{\circ}\text{LU}$ . Untuk pengolahan data menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel, sementara itu untuk visualisasi menggunakan GrADS.

Untuk menentukan kecepatan angin maksimum dan tekanan dari Topan Choi-wan dan Topan Nida adalah dengan mengunduh dari situs <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/annualreport.html>. Sementara itu, untuk mengetahui suhu permukaan laut dari tempat terbentuknya Topan Choi-wan dan Topan Nida dengan mengunduh data suhu permukaan laut dari

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html>. Untuk menentukan siklus Carnot adalah dengan menghitung nilai entropi ( $s$ ) dari tiap titik siklus untuk kemudian dihitung nilai energi mekaniknya ( $E$ ). Entropi dan energi mekanik secara bersamaan dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$s = c_p \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + \frac{L_v r}{T} - R \ln\left(\frac{P}{P_0}\right), \quad (1)$$

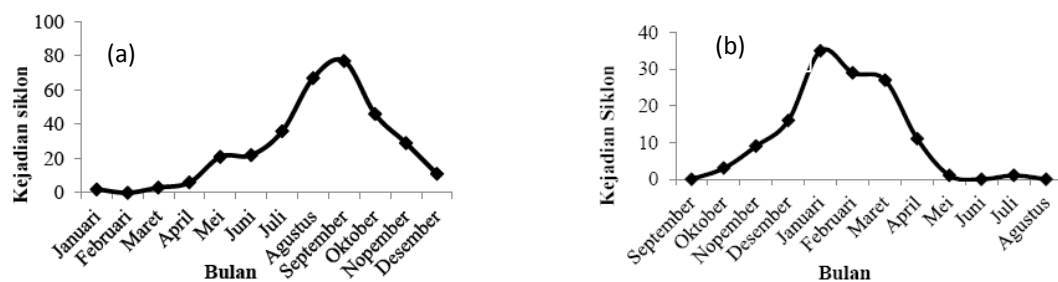
$$E = \epsilon T_s (s_c - s_a), \quad (2)$$

## Hasil dan Pembahasan

### Distribusi siklon tropis

Siklon tropis tidak terbentuk di daerah ekuator karena gaya Coriolis mendekati nol, wilayah Pasifik Utara bagian barat merupakan wilayah yang aktif terbentuknya siklon tropis, begitu pula wilayah Lautan Atlantik bagian utara (Neiburger, 1995). Pada umumnya siklon tropis di belahan bumi selatan lebih rendah intensitasnya daripada di Lautan Pasifik bagian utara dan Lautan Atlantik bagian utara (Neiburger, 1995). Di Lautan Atlantik Selatan bagian timur benua Amerika Selatan terjadi siklon tropis yaitu *hurricane* Catarina yang terjadi pada Maret 2004. Filho dan Lima (2006) menjelaskan bahwa *hurricane* Catarina merupakan kejadian meteorologi yang tidak biasa terjadi di Amerika Selatan bagian timur. Letak geografi Catarina yaitu  $27^\circ\text{LS}$  dan  $49^\circ\text{BB}$  di atas perairan hangat Lautan Atlantik. Catarina terbentuk karena meluruhnya gelombang baroklinik pada 19 Maret 2004 yang dipicu oleh sirkulasi *shear* yang rendah.

Siklon tropis yang diamati di BBU berasal dari wilayah Atlantik, wilayah Pasifik Timur, wilayah Pasifik Barat dan wilayah Hindia Utara. Data bulan Januari 2007 hingga bulan Desember 2011 ( $30-195^\circ\text{BT}$ ,  $15-180^\circ\text{BB}$ ) di lintang utara terjadi 320 kejadian siklon tropis. Siklon tropis yang terjadi hampir setiap bulan terdapat kejadian siklon tropis, kecuali bulan Februari tidak terdapat siklon tropis (0 kejadian siklon tropis). Frekuensi terbesar kejadian siklon tropis terdapat pada bulan September. Dari bulan Maret hingga September frekuensi kejadian siklon tropis semakin meningkat dan semakin menurun setelah bulan September (Gambar 1a).



Gambar 1. Kejadian Siklon Tropis bulanan di (a) BBU dan (b) BBS

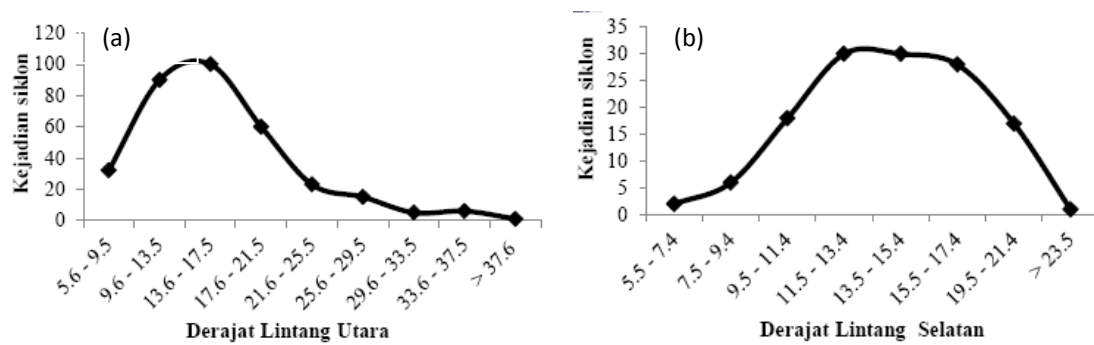
Berdasarkan hasil pengamatan ketika dilakukan pengolahan data untuk Gambar 1, pada belahan bumi utara umur siklon tropis rata-rata yaitu 6 hari, umur siklon tropis paling panjang yaitu 18 hari dan umur siklon tropis paling pendek yaitu 6 jam. Jadi umur siklon tropis dapat terjadi dari kurun waktu enam jam-an hingga 18 hari. Sementara itu, Siklon tropis yang diamati di BBS berasal dari wilayah Pasifik Selatan dan wilayah Hindia selatan. Data bulan Januari 2007 hingga Desember 2011 di lintang selatan terjadi 132 kejadian siklon tropis. Siklon tropis lebih banyak dari bulan November hingga bulan April dengan puncaknya pada bulan Januari karena pada bulan Januari posisi matahari sedang bergerak ke arah lintang utara dan terjadi suhu permukaan laut maksimum karena pada bulan Desember matahari tepat di atas belahan bumi selatan, karena pengaruh daerah konvergensi antar tropis sedangkan pada bulan September, Juni dan Agustus tidak pernah terjadi siklon tropis (Gambar 1b).

Di BBS umur siklon tropis rata-rata yaitu 5 hari, paling panjang 21 hari dan paling pendek 6 jam. Jadi umur siklon tropis dapat terjadi dari kurun waktu enam jam-an hingga 21 hari. Jumlah kejadian siklon tropis di BBU (320 siklon tropis) lebih besar daripada kejadian siklon tropis di BBS (132 siklon tropis). Hal

tersebut disebabkan oleh pada BBU proporsi daratan lebih besar daripada lautan, sedangkan di BBS luas lautan lebih besar daripada daratan (Gambar 1 a dan b).

#### Posisi lintang pada awal kemunculan siklon tropis di BBU dan BBS

Dari bulan Januari 2007 hingga Desember 2011 siklon tropis yang berasal dari wilayah Atlantik, Pasifik Timur, Pasifik Barat, dan Hindia Utara akan muncul pada kisaran lintang 5,6-37,6 °LU. Siklon tropis yang berada dalam tahap awal pembentukan pada lintang lebih besar dari 37,6 °LU selama kurun waktu 5 tahun dari 2007 hingga 2011 hanya terdapat 1 kejadian awal pembentukan siklon tropis (Gambar 2a). Hal tersebut karena tidak adanya pengaruh *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ) yaitu tempat bertemunya dua masa udara yang memiliki sifat dan kekuatan yang sama, sehingga terjadi konvergensi (naiknya massa udara) lalu tekanan udara menjadi rendah. ITCZ bergerak mengikuti lintasan semu matahari dengan inklinasi terjauh 23,50 lintang utara dan selatan. Frekuensi munculnya siklon tropis di belahan bumi utara semakin bertambah dengan semakin tingginya lintang hingga lintang maksimum yaitu 13,6-17,5°LU yang merupakan posisi lintang paling banyak dalam awal kemunculan siklon tropis. Pada lintang lebih besar dari 17,5 °LU awal kemunculan siklon tropis berkurang dengan semakin tingginya lintang (Gambar 2a).

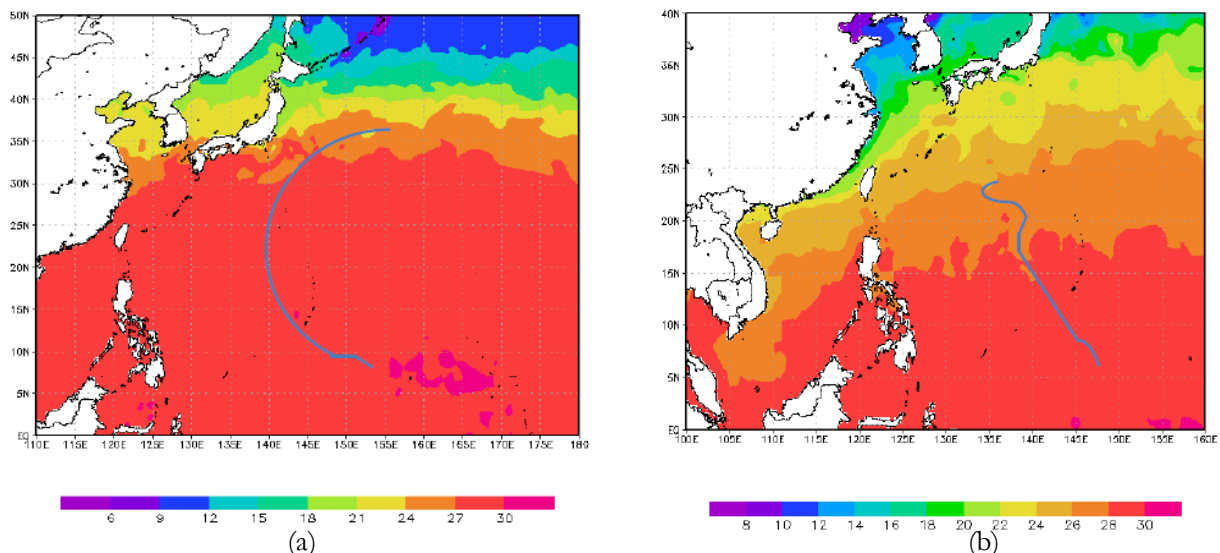


Gambar 2. Frekuensi awal kemunculan siklon tropis berdasarkan posisi lintang di (a) BBU dan (b) BBS.

Sementara itu, pada Gambar 2b ditunjukkan awal kemunculan siklon tropis yang terjadi di wilayah Lautan Pasifik Selatan dan Hindia Selatan dari bulan Januari 2007 hingga Desember 2011 terdapat pada 5,5-23,5°LS. Lintang 11,5-15,4°LS merupakan wilayah paling sering terjadinya siklon tropis. Semakin tinggi lintang maka frekuensi awal pembentukan siklon tropis pun semakin besar dengan puncak maksimum terjadi pada lintang 13,5-15,4°LS. Setelah melewati 15,4°LS maka frekuensi awal muncul siklon tropis menurun. Awal kemunculan siklon tropis tidak terjadi pada lintang dibawah 5,5°LS karena parameter Coriolis yang kecil dan tidak terjadi pada lintang diatas 26 °LS karena tidak masuk kedalam zona ITCZ yang inklinasi terjauh hanya mencapai 23,5°LS.

#### Suhu permukaan laut ketika terjadi topan Choi-wan dan topan Nida

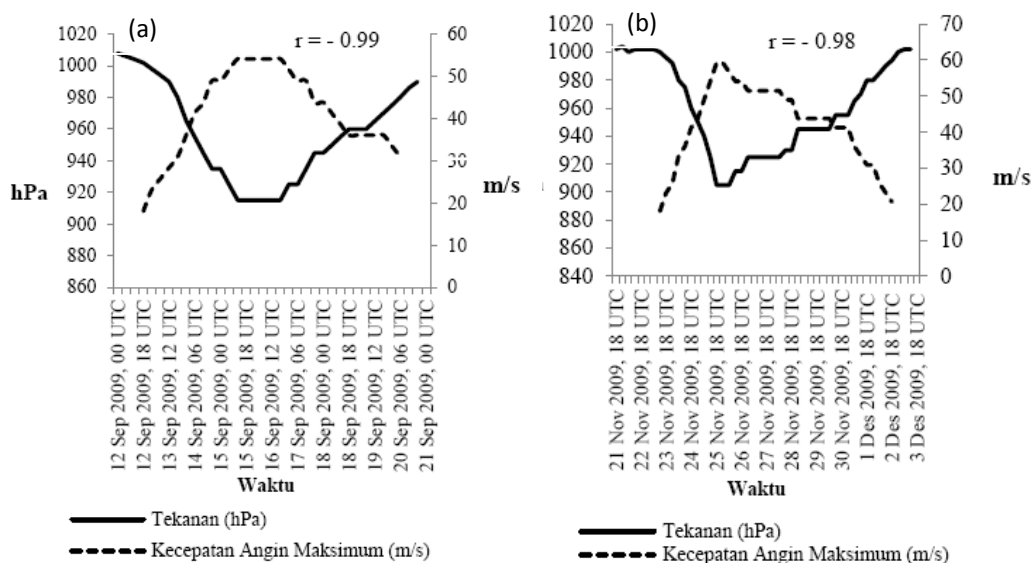
Pembentukan siklon terjadi pada suhu  $>26,5$  °C. Meningkatnya suhu perairan menyebabkan terbentuknya pusat tekanan rendah. Adanya pusat tekanan rendah dan didukung oleh energi dari uap air yang sangat banyak dari Lautan menyebabkan terjadinya daerah depresi dan terus berkembang menjadi siklon tropis (Dare and McBride, 2011). Suhu harian rata-rata untuk Topan Choi-wan dan Topan Nida ditunjukkan pada Gambar 3a dan Gambar 3b. Pada awal siklon tropis terbentuk suhu permukaan laut cukup panas yaitu 27 °C, tetapi ketika siklon tersebut bergerak ke suhu yang lebih rendah maka siklon tropis mengalami pelemahan, sesuai dengan literatur dari Ahrens (2009) and Nolan *et al.* (2007) bahwa syarat siklon tropis terbentuk pada suhu permukaan laut mencapai 27°C (Gambar 3a dan Gambar 3b).



Gambar 3. Suhu permukaan laut harian rata-rata di sekitar (a) Topan Choi-wan antara 12 September 2009 hingga 21 September 2009 dan (b) Topan Nida antara 21 November 2009 hingga 3 Desember 2009.

#### Tekanan dan kecepatan angin ketika terjadi topan Choi-wan dan topan Nida

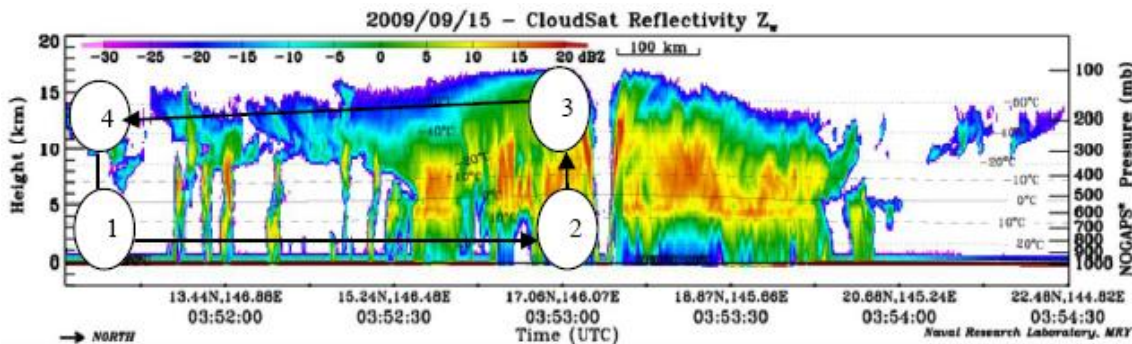
Hubungan terbalik antara tekanan dan kecepatan angin maksimum, yaitu ketika terjadi tekanan rendah maka kecepatan angin maksimum tinggi karena udara bergerak dari tekanan yang tinggi menuju tekanan yang rendah (Gambar 4). Keeratan hubungan antara kecepatan angin dan tekanan pada Gambar 4 a dan b ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) yang negatif  $r$  Topan Choi-wan yaitu -0,99 dan  $r$  Topan Nida yaitu -0,98. Nilai koefisien korelasi negatif menunjukkan bahwa kedua variabel mempunyai hubungan terbalik artinya jika nilai variabel  $x$  (kecepatan angin maksimum) tinggi, maka nilai variabel  $y$  (tekanan) akan menjadi rendah. Pada Topan Choi-wan tekanan terendah terjadi pada 915 hPa disertai kecepatan angin maksimum yaitu 54 m/detik yang terjadi pada 15 September 2009 pukul 12 UTC hingga 16 September 2009 pukul 18 UTC, sedangkan pada Topan Nida tekanan terendah terjadi pada 905 hPa disertai kecepatan angin maksimum yaitu 59 m/detik yang terjadi pada 25 November 2009 pukul 18 UTC hingga 26 November 2009 pukul 00 UTC.



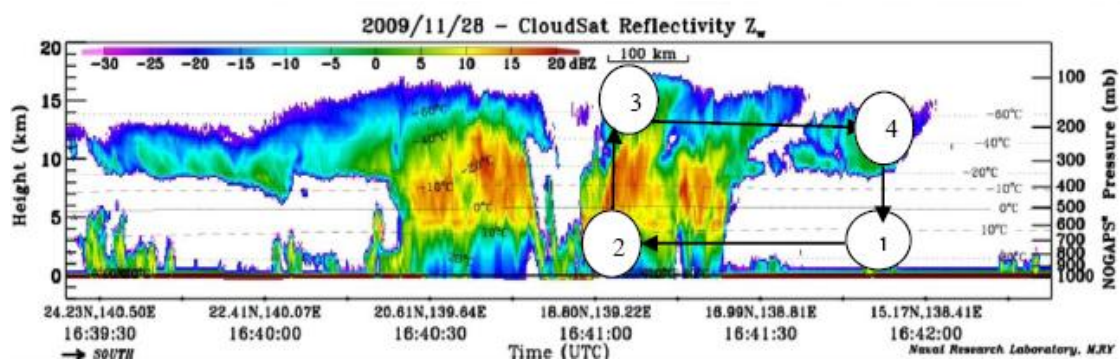
Gambar 4. Hubungan tekanan dan kecepatan angin (a) Topan Choi-wan dan (b) Topan Nida.

### Siklus carnot topan Choi-wan dan Nida

Stull (2000) menjelaskan bahwa siklon tropis dapat dianalogikan sebagai mesin panas Carnot. Ukuran energi dapat dinyatakan sebagai total entropi  $s$  per unit massa udara. Pada Gambar 5 siklus Carnot Choi-wan yang dianalisis untuk tanggal 15 September 2009 pukul 3.52 UTC (posisi geografi 13,44°LU, 146,88°BT) hingga pukul 3.53 UTC (posisi geografi 17,06°LU, 146,07°BT). Pada Gambar 6 siklus Carnot Nida yang dianalisis untuk tanggal 28 November 2009 pukul 16.41 UTC (posisi geografi 18,80°LU, 139,22°BT) hingga pukul 16.42 UTC (posisi geografi 15,17°LU, 138,41°BT). Mitrescu *et al.* (2008) menjelaskan bahwa *CloudSat* efektif memetakan bagian atas awan atau bagian dasar awan, areal luas hujan, terjadinya hujan ringan dan sedang, tingkat konveksi kuat, dan zona bebas hujan yang terdapat pada daerah mata siklon tropis (Gambar 5 dan Gambar 6).



Gambar 5. Struktur vertikal awan Topan Choi-wan pada 15 September 2009 pukul 03:52:00 UTC hingga 03:54:30 UTC. Sumber: [http://www.nrlmry.navy.mil/tc-bin/tc\\_home2.cgi](http://www.nrlmry.navy.mil/tc-bin/tc_home2.cgi)



Gambar 6. Struktur vertikal awan Topan Nida pada 28 November 2009 pukul 16:39:30 UTC hingga 16:42:00 UTC. Sumber: [http://www.nrlmry.navy.mil/tc-bin/tc\\_home2.cgi](http://www.nrlmry.navy.mil/tc-bin/tc_home2.cgi)

Bagian pertama siklus Carnot Topan Choi-wan dan Topan Nida, udara dalam *boundary layer* berpilin dari titik 1 ke arah dinding mata Topan (titik 2) sehingga tekanan menurun. Nilai entropi  $s_2$  meningkat dari nilai entropi  $s_1$  karena evaporasi dari permukaan laut meningkatkan *mixing ratio*. Evaporasi tersebut merupakan sumber energi terbesar untuk siklon tropis. Dari titik 2 udara lembab naik secara adiabatik (proses yang tidak terjadi penambahan atau pengambilan panas) menuju titik 3 (puncak dinding mata) sehingga tekanan menurun dan nilai entropi  $s_3$  lebih besar daripada entropi  $s_2$ . Divergensi udara pada titik 3 dipicu oleh perubahan tekanan  $p_3 = 20$  kPa menjadi  $p_4 = 25$  kPa (lihat tabel 1). Selama *high-altitude outflow* dari titik 3 ke titik 4, udara mengalami penurunan panas yang sangat cepat karena radiasi *infrared* (radiasi gelombang panjang yang mempunyai efek termal sebanyak 50% dari keseluruhan spektrum radiasi matahari), sehingga entropi  $s_4$  mengalami penurunan dari entropi  $s_3$ . Pada bagian akhir siklus Carnot udara turun secara adiabatik kering dari titik 4 ke titik 1 dengan tidak ada perubahan *mixing ratio*. Suhu udara meningkat secara adiabatik menjadi suhu Choi-wan adalah 29,57 °C dan suhu Nida adalah 28,18 °C karena kompresi pada saat udara turun menuju tekanan yang lebih rendah maka udara di dalam Topan terus berputar.

Tabel 1. Hubungan antara tekanan, suhu, *mixing ratio* dan entropi untuk Topan Choi-wan dan Topan Nida.

| Topan    | Titik | P(kPa)  | T(°C)  | r (g/kg) | Entropi s<br>[J/(K.kg)] |
|----------|-------|---------|--------|----------|-------------------------|
| Choi-wan | 1     | 100,313 | 29,57  | ≈0       | 102,35                  |
|          | 2     | 99,959  | 28,8   | 25,5     | 306,25                  |
|          | 3     | 20      | -48,18 | 0,25     | 270,11                  |
|          | 4     | 25      | -38,53 | ≈0       | 245,11                  |
| Nida     | 1     | 100,380 | 28,18  | ≈0       | 97,54                   |
|          | 2     | 100,339 | 27,57  | 23,5     | 285,95                  |
|          | 3     | 20      | -46,61 | 0,275    | 277,38                  |
|          | 4     | 25      | -38,79 | ≈0       | 243,99                  |

Tabel 2. Nilai energi mekanik Topan Choi-wan dan Nida

| Topan    | Energi Mekanik<br>(J/kg) |
|----------|--------------------------|
| Choi-wan | 14790,72                 |
| Nida     | 13297,28                 |

Siklus Carnot merupakan siklus tertutup, jadi udara dapat kembali melakukan sirkulasi melalui siklon tropis. Siklus Carnot dapat mengubah energi panas menjadi energi mekanik. Tabel 2 menunjukkan energi mekanik yang dihasilkan Topan Choi-wan selama 1 menit (dari pukul 3.52 UTC hingga 3.53 UTC) yaitu 14790,72 J/kg, sedangkan Topan Nida selama 1 menit (dari pukul 16.41 UTC hingga 16.42 UTC) menghasilkan energi mekanik yaitu 13297,28 J/kg. Energi mekanik tersebut digunakan untuk menggerakkan angin, gelombang laut, dan gelombang atmosfer. Energi mekanik Topan Choi-wan lebih besar daripada Topan Nida karena Choi-won terjadi pada bulan September (posisi matahari berada di ekuator), sedangkan Nida terjadi pada bulan November (posisi matahari sedang menuju belahan bumi selatan).

## Kesimpulan

Wilayah Pasifik Utara bagian barat merupakan wilayah yang aktif terbentuknya siklon tropis, begitu pula wilayah samudera Atlantik bagian utara. Pada umumnya siklon tropis di BBS lebih rendah intensitasnya daripada di Samudera Pasifik bagian utara dan Samudera Atlantik bagian utara. Frekuensi kejadian siklon tropis di BBU (320 siklon tropis) lebih besar daripada frekuensi kejadian siklon tropis di BBS (132 siklon tropis). Hal tersebut disebabkan oleh proporsi daratan di BBU lebih besar daripada lautan, sedangkan di BBS luas lautan lebih besar daripada daratan. Awal kemunculan siklon tropis tidak terjadi pada lintang dibawah 5,5°LS karena parameter Coriolis yang kecil dan tidak terjadi pada lintang diatas 26°LS karena tidak masuk kedalam zona ITCZ yang inklinasi terjauhnya hanya mencapai 23,5°LS. Siklus Carnot dapat mengubah energi panas menjadi energi mekanik. Pada Topan Choi-wan dan Topan Nida menghasilkan energi mekanik masing-masing sebesar 14790,72 J/kg dan 13297,28 J/kg. Energi mekanik Topan Nida lebih besar daripada Topan Choi-wan karena siklon tropis Choi-won terjadi pada bulan September (posisi matahari berada di ekuator) dan Topan Nida terjadi pada bulan November (posisi matahari sedang menuju belahan bumi selatan).

## Daftar Pustaka

- Ahrens, C.D. 2009. Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment. Brooks Cole, USA.
- Dare, R.A, J.L. McBride. 2011. The threshold sea surface temperature condition for tropical cyclogenesis. *Journal of Climate*, 24: 4570–4576.
- Emanuel, K.A. 1988. Toward a general theory of hurricanes. *American Scientist*, 76: 370-379.
- Emanuel, K. 2003. Tropical cyclones. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 31: 75-104.
- Filho, A.J.P, R.S Lima. 2006. Synoptic and mesoscale analysis of Hurricane Catarina Brazil, dalam *Proceedings of 8 ICSHMO*. Foz do Iguaçu, Brazil 24-28 April 2006.

- Lloyd, I.D, G. A. Vecchi. 2011. Observational evidence for oceanic controls on hurricane intensity. *Journal of Climate*, 24(4): 1138–1153.
- Mitrescu, C, S. Miller, J. Hawkins, T. L'Ecuyer, J. Turk, P. Partain, G. Stephens. 2008. Near-real-time applications of CloudSat data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47: 1982-1994.
- Mustika, AA. 2008. Karakteristik Siklon Tropis sekitar Indonesia. Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB, Bogor.
- Neiburger. 1995. Memahami Lingkungan Atmosfer Kita. Purbo, Ardina, penerjemah; Bandung: ITP Pr. Terjemahan dari : *Understanding our atmospheric environment*.
- Nolan, D.S, Y. Moon, D.P. Stern. 2007. Tropical cyclone intensification from asymmetric convection: energetics and efficiency. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 64: 3377–3405.
- Stull, R. 2000. *Meteorology for scientists and engineers*. Brookscole, USA.