

**PERINGATAN DINI DAN DIAGNOSIS MUNCULNYA TURBULENSI
CUACA CERAH DAN DAMPAKNYA PADA PESAWAT**
*EARLY WARNING AND DIAGNOSIS OF CLEAR AIR TURBULENCE
AND ITS IMPACT ON AIRCRAFT*

Achmad Sasmito

Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa 1 No.2 Kemayoran Jakarta Pusat 10720
Email: achmad_samito@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salah satu informasi meteorologi yang sulit diprakirakan diantaranya yaitu terjadinya turbulensi pada saat cuaca cerah (TCC), sedangkan metoda yang lazim digunakan untuk mengetahui daerah TCC yaitu dengan menghitung bilangan Richardson (Ri). Untuk menduga lokasi terjadinya TCC yang dialami oleh pesawat China Air Line, pada tanggal 20 September 2008 sekitar pukul 12.50 WIB yang terbang dari Taipe menuju Bali digunakan analisis data udara atas, satelit cuaca, dan prakiraan cuaca numerik model JMA (Numerical Weather Prediction/NWP). Hasil analisis data meteorologi tanggal 20 September 2008, pukul 11.00-13.00 WIB bahwa pesawat China Air Line diduga mengalami TCC lokasinya di sekitar Pulau Lulbu (Philipina/posisi 7 - 15° LU, 115° - 120° BT), pada paras 300 - 400 mb, nilai bilangan Ri yaitu sekitar 200-290, ditengarai berada di daerah pertemuan dua (2) masa udara yaitu bagian bawah berasal dari barat kecepatan angin 10-15 knot, sedang bagian atas berasal dari timur kecepatan angin 15-25 knot, suhu puncak awan -70° C, sedang disebelahnya suhu + 10° C. Keadaan cuaca tersebut berkaitan dengan munculnya siklon tropis Hagupit di Philipina.

Kata Kunci: Turbulent cuaca cerah (TCC), Bilangan Richardson (Ri), siklon tropis

ABSTRACT

One of the difficult forecasted meteorological information such as the occurrence of Clear air turbulence (TCC). The methods commonly used to determine the TCC region that is by calculating the Richardson number (Ri). To infer the location of the TCC aircraft experienced by China Air Line, on 20 September 2008 at around 04:00 to 06:00 UTC flying from Taipei to Bali used the analysis of upper air data, weather satellites and numerical weather Prediction JMA model (Numerical Weather Prediction/NWP). The results of the analysis of meteorological data on September 20, 2008, at 04:00 to 06:00 UTC show that China Air Line occurred TCC loTCCion around the Lulbu island (Philipine), positions 7°-15° N, 115°-120° E, at 300-400 mb, the Ri number is about 200-290, which are loTCCed in areas suspected to be the confluence of two (2) the air mass, is coming from the bottom of the west wind speed 10-15 knots, while the top comes from the east 15-25 knots wind speed, cloud top temperature of -70° C, on the other side the air temperature of + 0° C. The weather conditions associated with the emergence of a tropical cyclone Hagupit in Philipine island.

Key word: TCC, Ri number, and Tropical cyclone

Naskah masuk : 7 Oktober 2011
Naskah diterima : 11 Desember 2011

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan pesatnya penerbangan jarak pendek antar pulau yang menghubungkan kota satu dengan lainnya di Indonesia, maupun penerbangan jarak jauh yang menghubungkan antar negara di dunia, menjadi tantangan bagi BMKG khususnya para *forecaster* yang bertugas di bandara untuk dapat memberikan pelayanan penerbangan lebih cepat, akurat, tepat waktu, dan sekaligus mampu memberikan peringatan dini untuk keselamatan penerbangan, karena BMKG telah memiliki radar hampir diseluruh wilayah Indonesia.

Secara garis besar pelayanan Informasi meteorologi yang diperlukan untuk pelayanan penerbangan dibedakan dalam lima tahapan (*Program Comet*) yaitu pada saat pesawat berada di terminal pemberangkatan, saat akan tinggal landas (*take off*), selama perjalanan di udara, saat akan melakukan pendaratan (*landing*) ditempat tujuan, dan pada saat berada di terminal kedatangan. Data dan informasi meteorologi yang diperlukan dalam 5 tahapan tersebut diantaranya yaitu ¹⁾:

- 1) Pada saat pesawat berada di terminal pemberangkatan meliputi data curah hujan, *icing*, badai guruh, geser angin, visibilitas, angin kencang dan lain-lain.
- 2) Pada saat pesawat akan tinggal landas data dan informasi meteorologi yang disampaikan kepada pilot yaitu meliputi data arah dan kecepatan angin, geser angin, turbulensi, badai guruh, *microburst*, *icing* dan lain sebagainya.
- 3) Pada saat pesawat terbang disepanjang perjalanan data dan informasi meteorologi diberikan yaitu data angin pada berbagai lapisan yang di peroleh dari hasil olahan NWP, didalamnya terdapat informasi *Jetstream*, *mountain wave* (gelombang gunung), badai guruh, turbulensi, dan awan debu.
- 4) Sedang Data meteorologi yang diberikan kepada pilot pada saat akan mendarat sama halnya pada saat akan lepas landas. Meskipun data meteorologi yang diberikan pada saat akan mendarat adalah data terkini, namun karena masih terdapat perbedaan waktu jeda dalam kurun beberapa menit antara pendaratan dan *sample* data yang diberikan, terkadang dapat saja terjadi musibah yang dialami oleh pilot akibat perubahan kondisi cuaca yang mendadak yang dapat membahayakan pendaratan, seperti

terjadinya angin menyilang (*cross wind*) di sepanjang landasan yang berlangsung dalam beberapa menit saja, *down draft* (angin kebawah), perubahan jarak pandang (*visibility*) sehingga pesawat terpaksa melakukan *holding* (berputar-putar) di angkasa sambil menunggu adanya perubahan jarak pandang minimal yang dapat diyakini oleh pilot untuk dapat melakukan pendaratan.

- 5) Data meteorologi yang disampaikan pada saat pesawat berada di terminal kedatangan sama halnya pada saat pesawat berada di terminal pemberangkatan.

Informasi meteorologi penerbangan yang disampaikan oleh BMKG disepanjang perjalanan berupa data angin di berbagai lapisan dan awan dalam bentuk "*prognosis weather chart*" dan atau data gambar awan. Pada saat pilot menerima data meteorologi sebagai kelengkapan dalam "*flight document*" terkadang pilot juga melakukan konsultasi atau meminta penjelasan lebih rinci kepada *forecaster* BMKG mengenai kondisi cuaca di sepanjang perjalanan. Meskipun *forecaster* telah memberikan penjelasan bahwa cuaca disepanjang perjalanan diperkirakan cerah (*clear*). Namun informasi tersebut tidak semena-mena bahwa kenyamanan dan keselamatan penumpang dan awak pesawat (*crew*) 100 % terjamin sepenuhnya. Kadangkala dalam cuaca cerah kita dikejutkan adanya bencana yang tidak diduga-duga datangnya dan dapat berakibat fatal bagi penumpang yaitu adanya turbulensi (goncangan) kuat pada kondisi cuaca cerah (TCC) atau dikalangan penerbangan disebut bencana yang tidak tampak (*invisible hazard*).

Secara umum kondisi atmosfer yang berpotensi menimbulkan turbulensi dapat ditengarai dari analisis data rason²⁾, radar³⁾, NWP⁴⁾, dan satelit⁵⁾. Data satelit dan radar dapat mendeteksi turbulensi konvektif karena adanya sirkulasi lokal dari awan *comulonimbus* (*Cb*) yang tumbuh menjulang tinggi dengan puncak awan dapat mencapai 10-13 kilometer dari permukaan laut. Turbulensi dalam awan ditengarai dengan adanya pola sirkulasi angin keatas (*up draft*) dan kebawah (*down draft*) pada sel awan tersebut. Pengamatan data rason yang dilakukan 2 kali sehari oleh BMKG yaitu pukul 07.00 dan 19.00 WIB dapat digunakan untuk mendiagnosa gejala adanya turbulensi bersifat umum, dimana

daerahnya dan kapan waktu kejadiannya sulit diketahui secara pasti. Informasi gejala adanya turbulensi yang berasal dari data rason berlaku pada radius sekitar 150-200 kilometer dari titik pengamatan.

Selain data rason, data satelit cuaca juga digunakan untuk pelayanan penerbangan. Saat ini data tersebut dapat diterima setiap satu jam, sedang data awan yang berasal dari radar yang dipantau di stasiun meteorologi saat ini jumlahnya telah mencapai 22 buah, datanya dapat diperoleh setiap saat.

Sedang data lain yang dapat digunakan untuk mendiagnosa atau diprakirakan bakal terjadinya turbulensi dapat dicermati dari data prakiraan *numerical weather prediction* (NWP). Khusus produk NWP model JMA (Jepang) diterbitkan 4 kali dalam sehari yaitu pukul 00.00, 06.00, 12.00, dan 18.00 UTC atau setiap pukul 07.00, 13.00, 19.00, dan 01.00 WIB.

Berdasarkan penjelasan dari komandan Pangkalan Udara Ngurah Rai Kolonel Umar Faturahkman¹⁾ pada tanggal 20 September 2008 pesawat *China Air Lines* yang terbang pada elevasi 35.000 meter mengalami TCC. Untuk menelusuri adanya turbulensi yang dialami oleh pesawat *China Air Line* tersebut, pada kajian ini digunakan sample data rason tanggal 20 September 2008 pukul 07.00 dan 19.00 WIB di stasiun Manado dan stasiun Kinibalu (Malaysia). Berdasarkan data rason pukul 07.00 WIB pada pagi hari menunjukkan indikasi adanya turbulensi relatif kuat.

Berdasarkan informasi pesawat *China Air Line No. Register CI 687* yang lepas landas dari Taipei (Taiwan) menuju Bali, saat berada di sekitar Pulau Lulbu Philipina dengan *check point* terakhir pada posisi 11° 9'53"N - 116° 33' 9 E (sumber Kompas & Taiwan Post pk 13.24 WIB) terbang pada elevasi 36.000 *feet* (± 12 km) mengalami *Clear Air Turbulence* (TCC) pukul 12.50 WIB pesawat mengalami *downdraft* hingga elevasi berada pada 30.000 *feet* (9 km). Berdasarkan teoritis salah satu terjadinya TCC akibat adanya pembentukan front di sekitar daerah pertumbuhan siklon⁶⁾ yang terdapat adanya wind shear

Untuk membuktikan pernyataan tersebut dalam analisis ini digunakan data satelit MTSAT tanggal 20 September pukul 11.00 - 13.00 WIB. Sebelum melakukan analisis data satelit MTSAT terlebih dahulu ditetapkan daerah yang patut

dicurigai terjadinya TCC, berdasarkan informasi yang berasal dari media cetak yang berhasil dihimpun, selanjutnya kita menetapkan beberapa lokasi pilihan yaitu:

- 1) Sesuai kontak terakhir antara pilot pesawat dengan ATC (*air traffic control*) makasar pesawat berada pada posisi 11° 9'53"N - 116° 33' 9 E;
- 2) Sumber yang lain menyebutkan bahwa TCC berada disekitar P.Lulbu
- 3) Sebagian pihak ada yang menduga TCC di sekitar Selat Makasar;
- 4) Sebagian lagi TCC terjadi setengah jam sebelum pendaratan yaitu disekitar L.Jawa

1.2. Tujuan penelitian

Tujuan utama dari kajian ini diantaranya yaitu :

- 1) Menduga lokasi terjadinya turbulensi, jenis dan kekuatan yang dialami pesawat China Airline yang terbang pada tanggal 20 September 2008 pukul 12.20 WIB dari Taipei menuju Bali berdasarkan kondisi meteorologi yang paling logis.
- 2) Sebagai salah satu materi pelatihan para *forecaster* untuk mengidentifikasi turbulensi menggunakan data rason, satelit, dan NWP yang dimiliki stasiun, khususnya untuk pilot yang melayani terbang jarak pendek menggunakan pesawat ukuran kecil atau helicopter.
- 3) Menentukan nilai ambang batas harga Ri dan nilai unsur meteorologi lainnya yang dapat digunakan untuk membuat peringatan dini munculnya TCC/CT.

1.3. Tinjauan Teoritis

Pada dasarnya bagi seorang pilot pada saat akan lepas landas (*take off*), selama perjalanan, dan pada saat akan mendarat sampai di tujuan akhir, pesawat yang dikendalikan sepenuhnya tergantung 3 hal pokok yaitu kondisi mesin pesawat berikut peralatannya, ketrampilan pilot, dan keadaan cuaca yang dihadapi saat itu.

Beberapa fenomena meteorologi yang patut diwaspadai bagi pesawat terbang yang berpotensi menimbulkan gangguan, kecelakaan, kenyamanan, dan keselamatan penumpang dan awak pesawat diantaranya yaitu⁷⁾:

1. Terjadinya Turbulensi (*Turbulence*)
2. Terjadinya pembentukan es yang menempel pada

- pesawat (*Icing*)
3. Badai Guntur (*Thunderstorms*)
 4. Awan rendah yang mengganggu jarak pandang (*Low cloud and poor visibility*).

Sedangkan gangguan lain yang berpengaruh langsung terhadap kinerja mesin pesawat terbang yaitu terjadinya letusan gunung berapi (*dash cloud*) dan badai debu yang sifatnya temporer. Letusan gunung berapi tersebut dapat berlangsung cukup lama sampai 7 hari berturut-turut. Keadaan ini dapat diantisipasi hanya dengan cara tidak melakukan penerbangan sampai pada batas yang ditetapkan oleh otorita yang berwenang.

Seorang pilot selama mengendalikan pesawat terbang sesuai lima tahapan seperti tersebut diatas, sepenuhnya resiko yang mungkin terjadi berkaitan erat dengan dua hal pokok yaitu kondisi mesin pesawat terbang berikut peralatannya dan fenomena meteorologi yang dihadapi sepanjang perjalanan. Oleh karena itu bagi seorang pilot keadaan cuaca atau informasi meteorologi di sepanjang jalur penerbangan mutlak diperlukan dan harus dicermati nilainya, disamping itu data meteorologi pada saat akan lepas landas dan pendaratan juga diperlukan perhatian khusus, karena pada saat itu selain kondisi cuaca juga kepiawaian seorang pilot sangat diperlukan.

Didalam membahas turbulensi di atmosfer, udara dianggap sebagai gas ideal, secara matematis persamaan gas ideal dapat di formulasikan sebagai berikut ⁸⁾:

$$P = r \cdot R \cdot T \quad \text{atau} \quad r = P / R \cdot T \quad (1)$$

Dimana:

- P : tekanan udara,
- r : kerapatan udara,
- R : konstanta udara kering 287,04 JKg⁻¹K⁻¹
- T : temperatur udara

Dari persamaan gas ideal tersebut diatas tampak bahwa kerapatan udara (r) sebagai fungsi tekanan dan temperatur udara. Dengan demikian apabila kita terbang di udara pada elevasi tertentu yang kerapatannya relatif homogen dimana-mana, maka pesawat akan mengalami sedikit guncangan (turbulensi) akibat bentuk permukaan bumi yang tidak rata. Namun sebaliknya bila kita melewati udara dengan kerapatan yang heterogen, maka pesawat akan mengalami guncangan atau turbulensi relatif kuat.

Dalam meteorologi untuk menghitung kekuatan turbulensi dapat digunakan rumus bilangan *Richardson (Ri)* yang di formulasikan sebagai berikut⁹⁾:

$$Ri = (g / \dots / z) / (V / z)^2 \quad (2)$$

dengan:

- Ri: Bilangan Richardson
- g : Percepatan gravitasi bumi.
- q : Temperatur potensial
- / z : Perubahan temperatur potensial terhadap elevasi (sekaligus menggambarkan stabilitas udara pada elevasi tersebut)
- V/ z : geser angin arah vertical.

Untuk menghitung harga temperatur potensial menggunakan formula sebagai berikut ¹⁰⁾:

$$(i,j,k) = T(i,j,k) (1000/p(i,j,k)) R/Cp \quad (3)$$

dengan :

- q : temperatur Potential (0 K)
- T : Temperatur udara lingkungan (0 K)
- p : Tekanan udara (mb)
- R : Konstanta udara kering
- Cp: Panas *specific* udara kering pada tekanan tetap
- R/Cp : konstanta harganya 2/7
- I : lintang; j = bujur; k = Level

Untuk mengetahui kekuatan turbulensi (Ri) di setiap titik (*grid*) dapat dihitung menggunakan input data produk dari NWP. Untuk pelayanan penerbangan harga bilangan Ri berdasarkan *Ellrod dan Knapp 1991*¹¹⁾ diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Bila harga bilangan *Richardson* antara 0,25 dan 1,0 dikategorikan sebagai daerah turbulensi.
- 2) Bila harga bilangan *Richardson* kurang dari 0,25 dikategorikan sebagai turbulensi lemah.

Bagi seorang pilot selama mengendalikan pesawat disepanjang perjalanan selain memerlukan data cuaca (meteorologi) perihal yang tidak kalah pentingnya yaitu mengetahui posisi dan ketinggian (elevasi) pesawat. Menentukan elevasi pesawat acuan awal (0 meter) dari permukaan laut atau permukaan bumi/landasan. Dalam operasional sehari-hari posisi dan elevasi pesawat dapat diketahui dengan membaca alat ukur global Positioning system (GPS) dan altimeter yang dipasang dalam kokpit pesawat. Prinsip dasar cara

bekerjanya altimeter tersebut menggunakan kaidah fisika yaitu dengan memasang sensor suhu dan tekanan udara. Untuk menghitung elevasi pesawat dapat dihitung dengan menggunakan formula matematis yang mengadopsi dari "US Standard Atmosphere" sebagai berikut ¹²⁾:

$$Z = T_0/T [1 - (p/p_0)] (R_d \cdot T/g) \quad (4)$$

$$Z (\text{average}) = (Z \text{ layer1} + Z \text{ layer2})/2 \quad (5)$$

dengan:

- Z : Elevasi
- R_d : Konstante udara kering 287,04 Jkg⁻¹ . K⁻¹
- p₀ : Tekanan udara standar 1000 mb
- p : Tekanan udara pada berbagai elevasi
- T₀ : Temperatur udara rata-rata 288.15 K,
- g : Percepatan gravitasi 9.80665 m.s⁻²
- δ : Lapserate adiabatic

II. METODE PENELITIAN

2.1 Data dan Metode

Data meteorologi yang dapat digunakan sebagai kewaspadaan dini terjadinya TCC/CT dan sekaligus untuk menduga lokasi terjadinya TCC yang dialami oleh pesawat China Air Line pada tanggal 20 September 2008, pukul 12.10 WIB yaitu:

1. Data Rason stasiun meteorologi penerbangan, Samratulangi Manado, dan Kinibalu (Malaysia);
2. Data satelit cuaca MTSAT kanal IR1, dan Vis pukul 12.00 WIB
3. Data NWP model JMA pukul 11.00 - 13.00 WIB, paras 250, 300, dan 400 mb, pada tiga lokasi yang patut diduga terjadinya TCC.
4. Data dukung berupa informasi yang berasal dari petugas bandara Ngurah Rai Bali, dan pakar penerbangan Bp Chappy Hakim (Purnawirawan TNI AU) yang dimuat dalam beberapa media ¹³⁾.

Untuk menelusuri terjadinya turbulensi yang dialami pesawat terbang *China Air Line* digunakan dua jenis metode pendekatan, yaitu:

- 1) Mengetahui kekuatan turbulensi yang berkaitan erat dengan terjadinya TCC atau turbulensi awan konvektif (TAK) disepanjang jalur penerbangan Taipe-Bali, dilakukan dengan menganalisa harga bilangan *Richardson (Ri)* menggunakan software "*SATAID*" dengan input data NWP model JMA (tiap 6 jam) dan

software "RAOBs" dengan input data dari Rason (pukul 07.00 WIB)

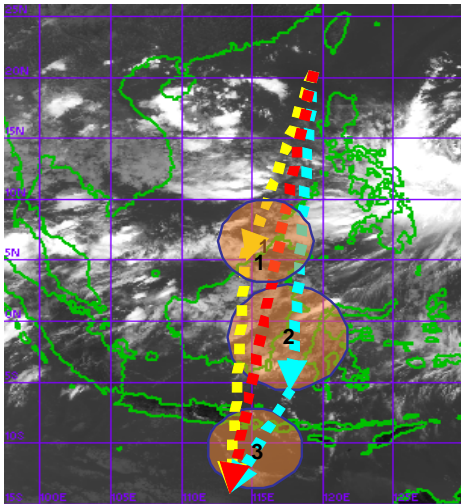
- 2) Disamping menghitung harga *Ri* untuk menduga lokasi terjadinya TCC/CT juga dilakukan analisis data satelit cuaca MTSAT pukul 11.00-13.00 WIB.

2.2. Analisis

Untuk melakukan analisis terjadinya turbulensi yang dialami pesawat *China Air Line* pada tanggal 20 September 2008 digunakan tiga sumber informasi yang berbeda penjelasannya. Dari ketiga informasi tersebut digunakan sebagai acuan untuk menelusuri kondisi cuaca di tempat tersebut. Selanjutnya dari hasil analisis data cuaca di ketiga lokasi tersebut yang paling memungkinkan berdasar data meteorologi selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk menetapkan salah satu tempat yang patut diduga sebagai daerah terjadinya TCC. Ketiga sumber informasi tersebut adalah:

- 1) Penjelasan Komandan Pangkalan Udara Denpasar Letkol (Pnb) Umar Faturrohman, menerima laporan dari Kapten Pilot *Liang Bung Pa* bahwa pesawat *China Airline* yang dikemudikan mengalami turbulensi dalam kondisi cuaca cerah (*clear air turbulence*) saat berada pada ketinggian 36.000 kaki di wilayah udara antara Pulau Sulawesi dan Pulau Kalimantan dalam waktu singkat pesawat langsung berada pada ketinggian sekitar 30.000 kaki alias anjlok 6.000 kaki ¹⁴⁾.
- 2) Penjelasan dari humas Bandara Ngurah Rai Dimiyati menyatakan bahwa pesawat *China Airline* mendarat di Bali pukul 14.05, terjadinya TCC 2 jam lebih 45 menit sebelum mendarat atau tepatnya pada pukul 11.20 WIB. Diduga pesawat mengalami turbulensi di selat Makasar sekitar Pulau Lulbu Philipina ¹⁴⁾.
- 3) Sedangkan Bapak Chappy Hakim pakar kedirgantaraan mengklaim bahwa TCC terjadi dekat selat makasar mengalami guncangan hebat pada ketinggian 30.000 kaki di atas teluk Makassar sekitar 30 menit sebelum landing ¹³⁾.

Secara rinci lokasi terjadinya turbulensi yang patut diduga dan skenario jalur penerbangan pesawat *China Airline* tanggal 20 September 2008 dapat dilihat seperti gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Skenario jalur penerbangan *China Airline* Taipei-Denpasar Bali, tanggal 20-09-2011, pukul 12.50 WIB.

Berdasarkan skenario tersebut diatas jalur penerbangan yang akan ditelusuri kondisi cuacanya lebih rinci di ketiga lintasan jalur utama yaitu Taipei - Lokasi 1 (11 N; 116 E), Taipei - Lokasi 2 (3-6 N; 121E), dan lintasan dari Lokasi 2 - Bali.

1. *Kondisi Cuaca sepanjang jalur Taipei - Lokasi 1 (11° LU; 116° BT).*

Berdasarkan kontak terakhir pesawat terbang *China Airline* jenis Boeing 747-400 terbang dari Taipei sampai di sekitar P.Lulbu (Lokasi 1, lihat gambar) pukul 11.20 WIB berada pada elevasi 36.000 feet atau berada pada paras 250-300 mb. Keadaan cuaca sepanjang jalur penerbangan tersebut dapat dijelaskan bahwa angin pada umumnya dari arah timur dengan kecepatan 15-20 knot, harga bilangan Ri yang menyatakan kekuatan turbulensi yaitu 50, pada posisi 13° LU, 117° BT terdapat awan Cb sampai pada posisi 100 LU, 116° BT suhu udara sekitar -40 °C, dan harga bilangan Ri = 210. Pada saat pesawat keluar dari awan Cb pola angin berubah yang semula dari timur berubah menjadi angin yang berasal dari utara dan berangsur-angsur bergeser dari barat dengan kecepatan sekitar 10-15 knot, dengan harga Ri yaitu 40. Pada paras 400 mb angin sepenuhnya berasal dari barat. Pada saat pesawat keluar dari awan Cb langit cerah hanya ditemui awan rendah sampai pada posisi 9° LU, 116 BT.

2. *Kondisi Cuaca sepanjang jalur Taipei - Lokasi 2 (2° LU; 121° BT)*

Munculnya pemikiran dibuat skenario jalur

penerbangan *China Air line* dari Taipei menuju Lokasi 2 yaitu berdasarkan informasi yang diperoleh dari media, namun kurang rinci penjelasannya, sehingga dibuat skenario pendugaan jalur penerbangan yang paling logis untuk menempuh penerbangan dari Taipei menuju Bali, disamping itu di sekitar daerah lokasi 2 juga ditemui adanya pertumbuhan awan yang diduga bisa menimbulkan terjadinya konvektif turbulensi. Pada skenario jalur penerbangan yang ke 2 ini pesawat terbang pada elevasi sama seperti pada skenario 1 yaitu berada pada 36.000 feet dari permukaan laut dan digunakan analisis data satelit cuaca pukul 11.00 - 13.00 WIB.

Berdasarkan perihal tersebut diatas, dapat dijelaskan bahwa pada saat lepas landas di Taipei keadaan cuaca relatif baik, sepanjang jalur penerbangan pada paras 300 - 400 mb sampai berada pada di posisi 16° LU, 121 ° BT cuaca relatif cerah, angin pada umumnya dari arah timur dengan kecepatan antara 15-20 knot, harga bilangan Ri yang menyatakan kekuatan turbulensi yaitu 50 (lemah). Pada saat terbang sampai berada pada posisi 15° - 10° LU, 120° BT ditemui awan tinggi dan menengah dengan suhu puncak awan sekitar -30°C s/d -10°C. Pada saat pesawat berada pada posisi 13° LU, 120° BT sampai pada posisi 8°LU, 120°BT ditemui awan menengah (altocumulus) dengan suhu puncak awan berkisar antara -30 °C s/d -45 °C dan harga bilangan Ri = 50. Pada saat pesawat keluar dari awan menengah pola angin berubah yang semula dari timur berubah menjadi angin yang berasal dari timur laut. Angin pada paras antara 400- 500 mb umumnya berasal dari timur laut sampai barat laut dan angin pada paras 500 mb dominan angin barat.

3. *Kondisi Cuaca Sepanjang Jalur Penerbangan Antara Lokasi 2 - Bali.*

Berdasarkan hasil analisis data satelit cuaca MTSAT paras 300-400 mb, antara pukul 11.00 - 13.00 WIB cuaca pada umumnya cerah, angin pada umumnya dari arah timur dengan kecepatan antara 10-30 knot. Hanya saja di sekitar daerah tarakan dan Pulau Laut ditemui awan Cb yang tidak terlalu luas dengan suhu sekitar - 40 °C s/d - 55 °C dan harga Ri sekitar 30-40. Selanjutnya mulai dari P.Laut Kalimantan Selatan sampai Bali cuaca cerah, angin umumnya dari timur dengan kecepatan antara 10-20 knot dan harga Ri antara 30-50.

Sebagaimana lazimnya 30-20 menit menjelang pendaratan elevasi pesawat semakin rendah dan kecepatan juga semakin berkurang. Berkaitan dengan hal tersebut sepanjang jalur penerbangan antara P.laut sampai Bali dalam kajian ini juga dilakukan analisis keadaan cuaca lapisan bawah yaitu antara 500 mb sampai permukaan antara pukul 11.00-13.00 WIB menggunakan satelit MTSAT yang digunakan untuk menelusuri kemungkinan adanya TCC tersebut. Secara umum hasil analisis tersebut dapat disampaikan sebagai berikut:

4. Analisis suhu puncak awan Kanal IR1, pukul 11.00 - 13.00 WIB.

Pada saat terbang berada di P. Laut ditemui gabungan antara awan rendah (Cb, Sc) dan awan tinggi (Ci) dengan suhu antara - 10°C s/d - 60 °C. Sepanjang laut Jawa antara P. Laut sampai Bali cuaca cerah (*clear*), menjelang pendaratan di pulau Bali ditemui awan Ci dengan suhu sekitar -10 °C.

5. Analisis suhu puncak awan Kanal IR4, pukul 12.00 - 13.00 WIB

Berdasarkan data awan dari satelit cuaca MTSAT kanal IR4, pukul 11.00 sampai 13.00 WIB menunjukkan bahwa disekitar P.laut ditemui awan Sc dengan suhu berkisar antara - 10°C s/d -15 °C. Sepanjang laut Jawa sampai P. Bali cuaca cerah, menjelang pendaratan di P. Bali ditemui awan panas dengan suhu sekitar 10 °C.

6. Keadaan Cuaca Paras 500 mb, 850 mb, dan 1000 mb (permukaan).

Berdasarkan hasil analisis data NWP model JMA pukul 11.00 - 13.00 WIB menunjukkan bahwa keadaan cuaca pada paras 500 mb di sekitar P.Laut yaitu - 7°C. Sepanjang laut Jawa hingga P.Bali cuaca cerah suhu udara sekitar -5°C s/d -6°C, angin umumnya dari arah timur dengan kecepatan antara 5 - 10 knot. Harga Ri yaitu berkisar antara 50-175.

Keadaan cuaca pada paras 850 mb pukul 11.00 - 13.00 WIB menunjukkan bahwa di sekitar P. Laut suhu udara 18 °C, arah angin umumnya dari timur dengan kecepatan sekitar 1 - 5 knot. Menjelang sampai di P. Bali suhu udara sekitar 20°C, harga Ri yaitu berkisar antara 40 - 110.

Keadaan cuaca pada paras 1000 mb pukul 11.00 - 13.00 WIB menunjukkan bahwa di sekitar P laut suhu udara 28° - 30°C , arah angin umumnya dari tenggara dengan kecepatan sekitar

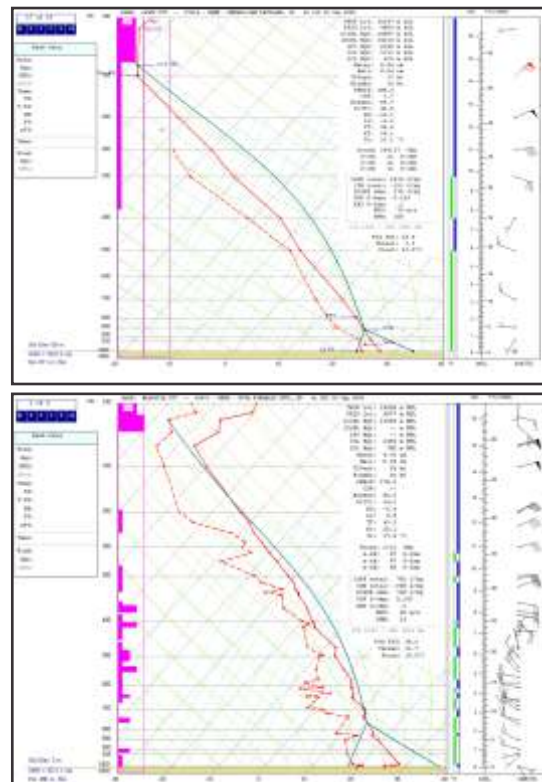
1 - 5 knot. Menjelang sampai di P. Bali suhu udara sekitar 26° - 28° C, angin antra 1- 5 knot.

Disamping mengetahui cuaca pada umumnya sepanjang perjalanan tersebut, untuk mendeteksi turbulensi yang dialami pesawat *China Air Line* tersebut digunakan analisis berbagai data diantaranya:

1. Data Rason stasiun Manado, dan Kinibalu (Malaysia) tanggal 20 September 2008.

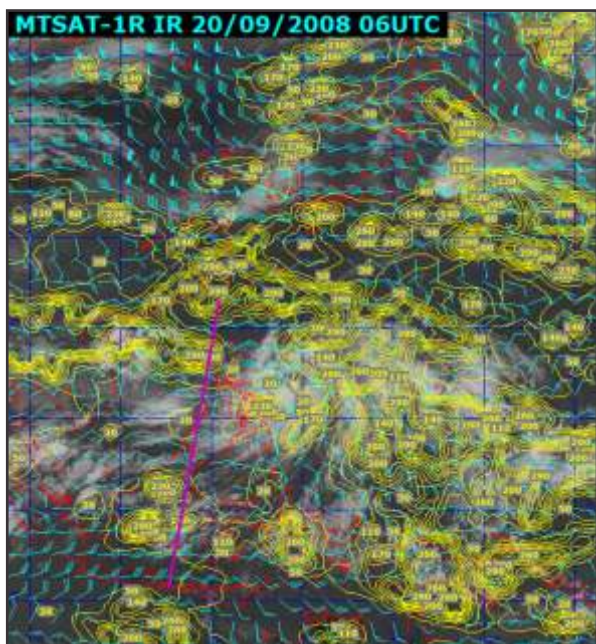
Hasil analisis data rason pukul 07.00 WIB menunjukkan bahwa udara lapisan atas (400-150 mb) di Stasiun Manado ditengarai adanya turbulensi lemah, pada lapisan 150 - 100 mb terdapat turbulensi yang cukup kuat. Sedangkan hasil analisis udara atas stasiun Kinibalu (Malaysia) menunjukkan bahwa mulai dari permukaan hingga lapisan 200 mb terdapat turbulensi lemah, pada paras 100 mb ditengarai adanya turbulensi yang cukup kuat.

Dari kedua stasiun tersebut menunjukkan bahwa karakter/sifat udara pada lapisan 100 mb menunjukkan adanya turbulensi udara lapisan atas yang relatif cukup kuat (gambar 2).



Gambar 2. Profil udara atas sta. Manado (kiri) dan St Kinibalu (kanan) tgl 20 September 2008, pukul 07.00 WIB, garis orage menyatakan daerah turbulensi.

- Hasil interpolasi data udara atas pukul 07.00 WIB yang dilakukan pada tiga lokasi dengan menggunakan software RAOBs, menunjukkan bahwa di sekitar P.Lulbu udara lapisan atas cukup labil dan ditengarai adanya turbulensi yang relatif cukup kuat.
- Sedang hasil analisis menggunakan data NWP model JMA menunjukkan bahwa nilai Ri pukul 11.00 WIB sepanjang jalur penerbangan utama dekat P.Lulbu yaitu 25-200, (lihat gambar 3).



Gambar 3. Kontur Nilai Bilangan Ri (kuning) pukul 13.00 WIB sepanjang jalur penerbangan. Taibe-Bali warna orange, (putih=Awan, dan biru =Angin) lapisan 300 mb.

- Data suhu puncak awan kanal IR1 15° LU - 10° LU, 110° -130° BT

Hasil analisis data suhu puncak awan kanal IR1 tanggal 20 September 2010 pukul 11.00 - 13.00 WIB, yaitu berkisar antara 0°C s/d - 74°C. Daerah warna putih suhu mencapai - 74°C, daerah yang diarsir merah suhu puncak antar -35°C s/d - 70 °C. Wilayah di sekitar siklon tropis Hagupit, suhu puncak awan antara 0 °C s/d -35 °C. Suhu puncak awan mencapai - 74 °C terdapat di pusat siklon tropis Hagupit.

VII. Pembahasan

Salah satu informasi pelayanan penerbangan yang diberikan oleh *forecaster* kepada pilot yaitu turbulensi cuaca cerah (TCC). Jenis informasi ini

relatif cukup sulit untuk dijelaskan karena tidak dapat ditengarai tanda-tandanya secara visual, dimana lokasi kejadiannya, disamping itu fenomena tersebut relatif jarang terjadi di wilayah Indonesia. Khusus untuk di wilayah tropis seperti Indonesia turbulensi lebih sering terjadi akibat adanya turbulensi konvektif dari awan Cb yang didalamnya terjadi angin naik (*updraft*), dan angin turun (*down draft*) apabila pesawat terjebak dalam awan tersebut maka akan mengalami turbulensi yang sangat kuat. Turbulensi konvektif mudah dihindari oleh pilot, karena dapat dideteksi secara visual dari gambar satelit/radar dan sebelum terbang sudah dijelaskan oleh *forecaster*, dan pada saat terbang dapat dilihat secara visual dan dapat direkam dalam radar cuaca yang sensornya di pasang didepan kokpit pesawat.

Untuk menjelaskan kekuatan TCC yang terjadi pada tanggal 20-09-2011 pukul 11.00 WIB digunakan data NWP pukul 12.00 WIB, sedang untuk mendeteksi turbulensi konvektif lebih tepat menggunakan data satelit MTSAT pukul 11.00 WIB karena data yang dipergunakan dapat di up date setiap satu jam, sehingga informasi yang diberikan cukup akurat khususnya untuk peringatan dini. Untuk mendeteksi turbulensi lebih akurat lagi apabila menggunakan data radar, karena data tersebut dapat di up date setiap saat, sehingga informasi mendekati *near real time*.

Indonesia sebagai negara maritim kontinen yang membentang di wilayah tropis, banyak pegunungan, sering mengalami turbulensi, hanya saja para *forecaster* kurang rapi dalam merekam informasi yang disampaikan oleh pilot, padahal data TCC tersebut sangat bermanfaat untuk data klimatologis yang dapat digunakan sebagai peringatan dini dimasa yang akan datang. TCC di wilayah Indonesia berdasarkan pengalaman pribadi sering dialami pada daerah dimana landasan pesawat terbang berada dekat pantai atau melintasi gunung. Kejadiannya berlangsung pada saat pesawat akan melakukan pendaratan, pada saat itu kecepatan pesawat relatif rendah, karena adanya *coastal front* yaitu terdapat perbedaan kerapatan udara yang significant antara di laut dengan di darat atau terjadi gelombang gunung sehingga menimbulkan turbulensi kecil, namun terkadang juga pernah kami alami cukup kuat yaitu penerbangan antara Jakarta-Banjarmasin.

Khusus untuk penerbangan jarak jauh yang

rute penerbangannya melintasi daerah subtropis ($> 30^\circ$ LU/LS) informasi TCC biasanya terjadi di sekitar daerah *Jetstream* yaitu pertemuan angin (konvergensi) di daerah lintang subtropis yang mempunyai kecepatan yang cukup tinggi, namun disisi yang lain terdapat pertemuan front panas dan dingin yang berfungsi sebagai bendung. Adanya perbedaan sifat atmosfer yang berbeda tersebut sangat berpotensi menimbulkan TCC. Disamping itu daerah disekitar pertumbuhan siklon tropis juga sangat rentan terhadap adanya TCC.

Oleh karena disekitar wilayah Indonesia baik di belahan bumi bagian selatan maupun utara sering tumbuh siklon tropis, maka informasi TCC atau turbulensi konvektif di sekitar pertumbuhan siklon tropis harus dicermati dengan seksama setiap waktu oleh seorang *forecaster*, karena sangat rentan dengan adanya TCC tersebut.

Perihal lain yang sangat mengkhawatirkan akhir-akhir ini di wilayah Indonesia kini sering tumbuh awan menjulang tinggi akibat adanya pola siklonal yang tumbuh di selatan P. Jawa Bagian Barat dan Tengah, bahkan dapat tumbuh di daratan pulau Jawa (lihat pola cuaca tahun 2008). Keadaan cuaca ekstrim tersebut bagi seorang pilot selama perjalanan mungkin tidak bermasalah, karena terbang diatas awan tersebut. Namun problem muncul manakala pada saat pendaratan yaitu adanya pertumbuhan awan rendah sehingga jarak pandang (*visibility*) terbatas, bila telah kelihatan landasan pilot langsung melakukan pendaratan padahal landasan dalam kondisi basah, keadaan yang demikian ini dikhawatirkan pesawat tergelincir dan terjadi kecelakaan. Disamping itu juga adanya *down draft* dari awan Cb yang disertai *thunderstorm* dan *lightning* yang tumbuh disekitar bandara yang dapat menyebabkan terjadinya *overshoot* karena pesawat terdorong angin dari atas sehingga pesawat terbang pada saat landing mendapat angin buritan yang cukup kuat sehingga pesawat dapat terperosok keluar dari landasan. Sebagai contoh pesawat "*Lion Air*" di Solo Jawa Tengah pada tanggal tgl 30-September-2008 yang melakukan pendaratan dalam keadaan hujan lebat dimana disekitar bandara terdapat pertumbuhan awan Cb.

Perihal yang cukup mengkhawatir bagi transportasi udara dan maritim yaitu di wilayah Indonesia kini telah mengalami 2 kali pertumbuhan siklon tropis "Durga" dan Kirrily. Padahal secara

teoritis kemungkinannya sangat kecil bisa tumbuh di daerah tropis. Namun berdasarkan observasi siklon tropis bisa tumbuh di daerah $< 10^\circ$ (lintang). Dengan adanya fenomena tersebut Indonesia kini sangat rentan dengan munculnya turbulensi akibat adanya pertumbuhan awan konvektif. Sejalan dengan kejadian tersebut seorang *forecaster* betul-betul harus memperhatikan dengan tekun, cermat, dan teliti mengenai data rason, radar, dan satelit yang dimiliki.

Berkaitan dengan terjadinya musibah yang dialami oleh pesawat *China Airline No.CI 687* Jenis jenis Boeing 747-400 dari Taipe (Taiwan) menuju Bali berbagai sumber mengalami TCC sekitar pukul 11.20 WIB yang lokasinya berbeda-beda antara sumber yang satu dengan yang lainnya. Berdasarkan kontak terakhir dengan ATC di Makasar/Bali posisi pesawat berada di sebelah barat P. Lulbu tepatnya berada di $11, 3^\circ$ LU, 116° BT, sedang berita dari sumber yang lain menyebutkan bahwa pesawat *China Airline* mengalami TCC berada di selat Makasar, sedang pakar penerbangan Bapak Chappy Hakim mengatakan pesawat terkena TCC setengah jam (30 menit) sebelum pendaratan yaitu di selat makasar dekat Pulau Laut Kalimantan Selatan (sumber Kompas). Sedang sumber dari *Taiwan Post* TCC dialami pada pukul 13.24 WIB.

Berdasarkan informasi yang berbeda tersebut dalam kajian ini dilakukan penelusuran beberapa unsur meteorologi pada elevasi 36.000 feet s/d 30.000 feet diatas permukaan laut, pada pukul 11.00 - 13.00 WIB di ketiga (3) lokasi yang diduga tersebut. Bila hasil analisis salah satu dari ke tiga wilayah tersebut memenuhi ketentuan teoritis dan besaran harga unsur meteorologi memenuhi acuan standar, maka daerah tersebut patut diduga sangat memungkinkan terjadinya TCC. Berkaitan dengan perihal tersebut diatas beberapa unsur meteorologi dilakukan analisis dan pembahasan di beberapa tempat yang diduga terjadinya TCC yaitu:

Sepanjang jalur lintasan penerbangan antara Taipe sampai Lokasi 1, sesuai kontak terakhir tepatnya berada pada posisi (11° LU; 116° BT). Mula-mula muncul keraguan dibenak kami mengapa lintasan pesawat *China Airline* tersebut sangat jauh menyimpang dari jalur jarak terdekat antara Taipe-Bali (lihat gambar 1), mungkin pilot sudah mendapat *warning* dari *Tropical Cyclon*

Warning Center (TCWC) dari Philipina agar penerbangan menjahui dari pusat pertumbuhan siklon tersebut. Namun ternyata pada saat pesawat China Ailine berada pada posisi 11° LU; 116° BT justru ditemui gumpalan awan-awan konvektif cukup tinggi yang puncaknya diprakirakan sekitar 11-13 km yang ditengarai dengan suhu puncak awan mencapai - 70°C yang diduga sebagai awan Cb, semakin kearah selatan kurang-lebih sepanjang 111 km cuaca cukup cerah (*clear*) hanya ditemui sedikit gumpalan jenis awan rendah dengan suhu puncak awan sekitar + 20° C, selanjutnya ditemui kembali pertumbuhan awan Cb yang cukup lebar.

Memperhatikan keadaan cuaca seperti tersebut diatas bila pilot terbang pada elevasi tetap yaitu 36.000 *feet* nampaknya pesawat mula-mula mengalami turbulensi konvektif (*down draft*) dalam awan Cb tersebut, kemudian pesawat turun mendadak mengalami turbulensi sampai pada elevasi 30.000 *feet*. Musibah turbulensi mungkin saja terjadi setelah keluar dari gumpalan awan Cb. Pada saat pesawat berada pada elevasi 36.000 *feet*, kondisi suhu lingkungan (diluar pesawat) mencapai - 40 °C, namun secara mendadak suhu lingkungan berubah menjadi - 10 °C s/d 0 °C. Kondisi yang demikian ini berdasarkan persamaan gas ideal, dimana kerapan udara sebagai fungsi temperatur dan tekanan udara atau lazim ditulis $r(p,t)$ akan terjadi perubahan (r) secara drastis, sesuai hukum keseimbangan pesawat akan mengalami penurunan elevasi, karena udara lingkungan disekitar pesawat sangat ringan. Berdasarkan laporan pesawat turun sampai 6.000 feet dari keadaan semula. Disatu pihak memang saat terjadi TCC cuaca dalam keadaan cerah, namun bila ditinjau dalam skala yang lebih luas tampaknya kejadian tersebut akibat turbulensi konvektif atau turbulensi akibat adanya gelombang gravitasi (*gravity wave*) karena pesawat melintasi di antara daerah pertumbuhan awan yang menjulang tinggi (lihat gambar jalur penerbangan 1).

Skenario selanjutnya jalur penerbangan *China Airline* kami pilih pada daerah yang clear sejak pesawat lepas landas dari bandara Taipe sampai di utara Pulau Kalimantan, terbang pada elevasi sekitar 300 mb. Ternyata pada saat pesawat berada pada posisi 15° LU; 120° BT ditemui turbulensi cukup kuat yang nilainya berkisar antara 210 - 250, pada saat pesawat berada di 15° - 10°

LU ; 115° - 120° BT ditemui pola angin yang berlawanan dibagian atas angin dari timur dengan kecepatan antara 25-30 knot, sedang bagian bawah angin dari barat dengan kecepatan yang bervariasi antara 15-25 knot. Kondisi atmosfer yang demikian ini secara teoritis dapat membangkitkan munculnya TCC.

Keadaan cuaca tanggal 20 September 2008 yang bersamaan dengan munculnya siklon tropis Hagupit di sekitar Philipina menunjukkan bahwa pola angin permukaan hingga lapisan 500 -400 mb di sekitar daerah 15° s/d 3° LU; 110° s/d 120° BT dominan angin barat dengan kecepatan antara 10 - 25 knot. Sebaliknya angin di lapisan atas 300 s/d 150 mb dominan angin timur dengan kecepatan antara 15 s/d 30 knot.

Berdasarkan penjelasan pakar penerbangan Bp Chepy hakim TCC yang dialami *China Airline* terjadi setengah jam sebelum pendaratan di Bandara Ngurah Rai Bali. Ternyata setelah dilakukan penelusuran keadaan cuaca menggunakan data NWP pukul 12.00 WIB dan data MTSAT antara pukul 11.00 s/d 13.00 WIB tidak ditemui hasil yang menguatkan adanya TCC.

Memperhatikan kondisi cuaca di ketiga jalur penerbangan tersebut nampaknya turbulensi diduga terjadi di wilayah Philipina disebelah barat P.Lulbu antara pukul 11.00 - 12.00 WIB pada lapisan 300-400 mb, jenis turbulensi ada dua kemungkinan yaitu konvektif turbulensi dan TCC yang ditrigger adanya pertumbuhan siklon tropis Hagupit di sebelah timur Manila.

Untuk mengetahui penyebab terjadinya kecelakaan pesawat udara pada saat lepas landas, pendaratan, atau terjadinya TCC di sepanjang perjalanan bagi seorang *forecaster* data yang diperlukan selain data meteorologi juga diperlukan data "*Flight data recorder (FDR)* dan *communication voice recorder (CVR)*" untuk mengetahui secara akurat posisi (elevasi, lintang, bujur) pada saat mengalami kejadian tersebut, selanjutnya dikaitkan dengan unsur meteorologi yang ada pada saat itu sejauh mana keterkaitannya. Oleh karena itu dalam upaya meningkatkan pelayanan jasa meteorologi penerbangan para *forecaster* harus berusaha semaksimal mungkin untuk memperoleh data FDR maupun CVR melalui kerjasama dengan pihak *air traffic control (ATC)*, Kepala Bandara, atau dapat bertemu langsung dan melakukan wawancara dengan pilot yang

mengalami musibah tersebut. Informasi tersebut sangat diperlukan selain untuk mengetahui penyebab terjadinya kecelakaan yang dikaitkan dengan keadaan cuaca juga digunakan untuk peringatan dini bagi pesawat yang terbang pada hari itu pada jalur yang sama.

Belajar dari kejadian musibah atau kecelakaan pesawat terbang yang dialami di berbagai tempat yang terkadang informasinya simpang siur, kiranya *forecaster* dilingkungan BMKG untuk lebih cermat dalam memberikan pelayanan penerbangan,

Dalam kejadian turbulensi pesawat China Airline yang menjadi pertanyaan justru pada saat mengatasi *emergency* penumpang pesawat tersebut. Setelah mengalami musibah turbulensi yang mengakibatkan beberapa penumpang luka justru pilot mengambil keputusan terbang tetap dilanjutkan ke Bali tapi tidak dilakukan pendaratan darurat ke bandara Kinibalu atau Ke Manado, padahal posisi pesawat berada di udara Malaysia. Apakah keputusan pilot dan manajemen *China Air Line* hanya memperhatikan faktor ekonomis belaka tapi mengabaikan faktor keselamatan penumpang, perihal inilah yang menjadi pertanyaan kita semua.

VIII. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan tersebut diatas, terjadinya musibah turbulensi pesawat *China Air Line* tanggal 20 September 2008 yang terbang dari Taipei menuju Bali, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya yaitu:

1. Lokasi TCC diduga berada pada posisi 11° 9'53"N - 116° 33' 9 E; disekitar P.Lulbu (Philipina), elevasi antara 300 - 100 mb, kejadian tersebut berlangsung antara pada pukul 11.00 s/d 12.00 WIB.
2. Jenis turbulensi yang dialami pesawat *China Airline* tampaknya akibat CT/TCC yang di-*trigger* oleh pertumbuhan siklon tropis haguipit.
3. Data rason stasiun Manado tanggal 20 September 2008 pukul 00.00 UTC telah memberi *alert* (peringtan) yang mengarah adanya indikasi TCC, hanya saja lokasinya dimana yang patut dicurigai perihal inilah yang menjadi perhatian kita bersama.
4. Dalam rangka validasi data model maupun data pengamatan yang dilakukan BMKG, yang berasal dari rason, radar, dan satelit bila terjadi kecelakaan pesawat terbang seyogyanya BMKG berusaha meminta data FDR dari

KNKT untuk mencocokkan data meteorologi yang terekam selama perjalanan tersebut dalam rangka meningkatkan kualitas analisis dan pelayanan dalam bidang meteorologi penerbangan.

IX. Daftar Pustaka

- 1) The Impact Of Weather on Air Traffic Management, Section 3. (<http://www.meted.ucar.edu/nas/print3.htm>), diakses 23 Agustus 2011
- 2) Prophet, D.T. (1970). *High Altitude Clear Air Turbulence Probability Based On Temperature Profiles And Rawinsonde Ascensional Rates*, *Monthly Weather Review*. California: Lockheed-California Company
- 3) Dutton, John A. (1971). Clear-Air Turbulence, Aviation, and Atmospheric Science. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 9(3)
- 4) Hubert Luce, Takuji Nakamura, Mayasuki K. Yamamoto, and Mamoru Yamamoto, Shoichiro Fukao (2009), MU Radar and Lidar Observations of Clear-Air Turbulence underneath Cirrus. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 438-452.
- 5) Dutton, M.J.O (1980), Probability Forecast Of Clear Air Turbulence Based on Numerical Model Output, *Meteorology*, 109, 293-310
- 6) Ellrod G.P (1985), *Detection of High Level Turbulence Using Satelit Imagery and Upper Data*. NOAA Tech. Memo. NENDIS 10 U.S. Dept of Commerce, Washington DC.
- 7) Pesawat China Air dan Turbulensi. (2008). (<http://www.chappyhakim.com/2008/09/23/pesawat-china-air-dan-turbulensi>), diakses tanggal 25 Nopember 2011
- 8) G O E S - R A v i a t i o n W e a t h e r Applications. (noaasis.noaa.gov/noaasis/.../mosher2_p.ppt), diakses 23 Agustus 2011.
- 9) Brian L. Belson (2004). *An automated method of predicting clear-air turbulence*, Thesis. Departement of the Air Force, Air University. AIR FORCE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- 10) Mc.Cann, D.W., Knox, J.A., & Williams, P.D. (2001). *A New Direction in Clear-Air Turbulence Forecasting Based on Spontaneous Imbalance*.

- ¹¹⁾ Ellrod, G.P., & Knapp, D.L. (1991). An Objective Clear Air Turbulence Forecasting Technique Verification and Operational Use. *Weather and Forecasting*, 7, 150-165.
- ¹²⁾ Pearson, J.A., Rugge, H.R., Champion, K.S.W., Cole, A.E., Forbes, J.F., Kantor, A.J. et.al (1976). *US Standard Atmosphere*. National Oceanic and Athmosphere Administration, National Aeronautics and Space Administration, United State Air Force.
- ¹³⁾ Keller, J.L. (1990). Clear Air Turbulence as a Response to Meso-and Synoptic-Scale Dynamic Processes. *Monthly Weather Review*, 118, 22-28.
- ¹⁴⁾ China Airlines Alami Turbulensi, 12 Luka.(2008).(<http://nasional.kompas.com/read/2008/09/20/14500565/china.airlines.alami.turbulensi.12.luka>), diakses tanggal 25 Agustus 2011.