

PENGARUH *MICROBURST* DAN *LOW-LEVEL WIND SHEAR (LLWS)* PADA KASUS KECELAKAAN PENDARATAN PESAWAT LION AIR TANGGAL 13 APRIL 2013 DI BALI

*THE EFFECT OF MICROBURST AND LOW-LEVEL WIND SHEAR (LLWS) IN THE CASE
OF CRASH OF LION AIR PLANE ON APRIL 13, 2013 IN BALI*

Achmad Sasmito*, Donaldi S. Permana, Alfian S. Praja, Urip Haryoko

Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720

*E-mail: achmad_sasmito@yahoo.co.id

Naskah masuk: 26 Februari 2018

Naskah diperbaiki: 30 Desember 2019

Naskah diterima: 22 Juli 2020

ABSTRAK

Pada tanggal 13 April 2013 pukul 14.00-15.00 WIB (07.00 – 08.00 UTC) telah terjadi musibah jatuhnya pesawat Lion Air Boeing 737-800 di laut Bali sebelum mencapai ujung landas pacu 09 di bandara Ngurah Rai, Bali. Kajian ini bertujuan untuk menganalisa potensi terjadinya *microburst* dan *low-level wind shear (LLWS)* sebagai penyebab terjadinya peristiwa tersebut berdasarkan analisis data satelit, radar cuaca, model global JMA, *automated weather observing system (AWOS)* dan *flight data recorder (FDR)* pesawat. Analisis data satelit MTSAT menunjukkan bahwa di sekitar bandara terdapat pertumbuhan awan Cumulus yang berkembang menjadi awan Cumulonimbus (Cb), dengan suhu puncak awan -52.5°C . Data radar cuaca menunjukkan bahwa di sebelah barat landasan sekitar 2 - 3 km dari ujung landasan yang biasa digunakan untuk *touch down* pesawat ditengarai terdapat awan Cumulus dan Cb dengan tinggi dasar awan sekitar 500 meter. Selain itu, analisis data model dan AWOS menunjukkan adanya LLWS, yakni angin permukaan dominan dari timur sedangkan angin lapisan atasnya (lapisan 925 mb) dominan angin dari timur-laut dengan kecepatan antara 10-15 knot. Hal ini didukung oleh data FDR pesawat yang menunjukkan adanya daya hempas ke bawah yang sangat kuat dan menyebabkan pesawat turun secara drastis dengan rata-rata 375 meter/menit dari ketinggian 6000 kaki pada 07.00 UTC menuju ketinggian 1000 kaki pada 07.04 UTC sebelum akhirnya jatuh pada pukul 07.10 UTC. Hal ini mengindikasikan potensi terjadinya *microburst* yang dapat berakibat pada kecelakaan pesawat terbang.

Kata kunci: Microburst, LLWS, awan Cb, radar cuaca

ABSTRACT

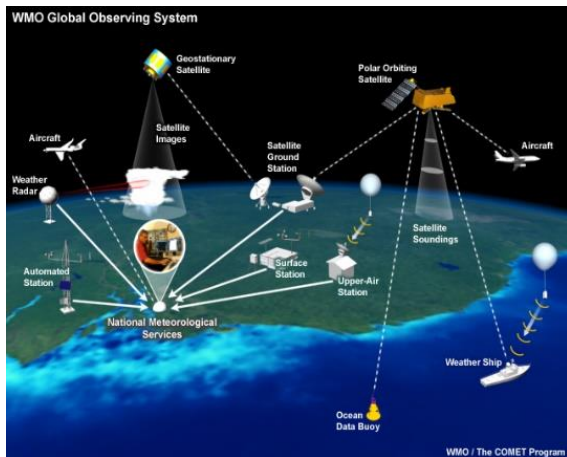
On April 13, 2013 at 14.00-15.00 WIB (07.00 – 08.00 UTC) the Lion Air Boeing 737-800 aircraft crashed in the Bali sea before reaching the end of runway 09 in Ngurah Rai airport, Bali. This study aims to analyze the potential occurrence of *microburst* and LLWS as the causes of this accident based on satellite, weather radar, JMA global models, AWOS and aircraft FDR data. Satellite data showed that cumulus clouds developed into Cb clouds with peak temperatures of -52.5°C around the airport. Radar data showed that in the west of the runway around 2 - 3 km there were suspected cumulus and Cb clouds with a cloud base height of about 500 meters. Besides, model data and AWOS showed the existence of LLWS indicated by the easterly surface wind and the northeasterly upper layer winds (925 mb) with speeds between 10-15 knots. This was supported by aircraft FDR data which showed a very strong downburst which caused the aircraft to drop drastically with an average of 375 meters / minute from 6000 feet at 07.00 UTC to 1000 feet at 07.04 UTC before finally crashed at 07.10 UTC. This indicates the potential for a *microburst* that results in an aircraft accident.

Keywords: Microburst, LLWS, Cb cloud, weather radar

1. Pendahuluan

Negara Indonesia memiliki ribuan pulau yang tersebar dari Sabang hingga Meurauke. Transportasi udara di sepanjang jalur penerbangan menjadi hal yang penting untuk menjangkau pulau-pulau tersebut. Sebagai upaya memahami kondisi cuaca di wilayah Indonesia untuk pelayanan penerbangan,

diperlukan prakiraan cuaca resolusi tinggi yang tepat dan akurat. Dalam pelayanan transportasi udara, perlu diperhatikan beberapa faktor yang penting dalam keselamatan operasional penerbangan agar tidak terjadi kecelakaan penerbangan seperti kondisi pilot, kondisi pesawat terbang dan kondisi cuaca mulai dari saat terbang (*take off*) sampai dengan *landing* (mendarat).



Gambar 1. Program WMO-GOS [7].

Bila ditinjau dari lokasi kejadian musibah pesawat terbang jenis Airbus, data statistik menunjukkan bahwa lebih sering terjadi kecelakaan di landas pacu dan sekitarnya yaitu pada saat pesawat akan mendarat (*landing*) [1]. Banyaknya kejadian kecelakaan saat mendarat mencapai kisaran 45%, dibandingkan kecelakaan lainnya seperti saat terbang atau *take off* yang berada pada kisaran dibawah 20%. Berdasarkan penyebabnya, kecelakaan pesawat disebabkan oleh pilot (*human error*), keadaan pesawat terbang, dan kondisi meteorologi [2]. Musibah dalam penerbangan akibat fenomena meteorologi umumnya terjadi karena akibat turbulensi [3], angin melintang (*cross wind*) [4], perubahan arah angin vertikal/horizontal (*low level wind shear, LLWS*) [5], dan *microburst* [6].

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 95 tahun 2018 tentang peraturan keselamatan penerbangan sipil bagian 174, setiap penerbangan harus dilengkapi dengan informasi meteorologi seperti data synop, metar, spesi, prakiraan cuaca bandara, *flight document* berisi kondisi cuaca umum sepanjang perjalanan berupa gambar peta angin pada berbagai lapisan, *prognose weather chart* dan kondisi cuaca di kota tujuan penerbangan. Informasi ini disediakan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Walaupun kondisi cuaca sepanjang perjalanan terkadang tidak sejalan dengan prakiraan, pilot dapat mengambil keputusan secara cepat dan tepat berdasarkan data observasi yang tersedia. Sesuai program *World Meteorological Organization-Global Observing System* (WMO-GOS) untuk membuat model prakiraan cuaca numerik global diperlukan data dari stasiun meteorologi yang tersebar di seluruh dunia baik di darat, laut, dan di udara (pesawat). Hirarki prosedur pengiriman data secara ringkas disajikan pada Gambar 1 [7].

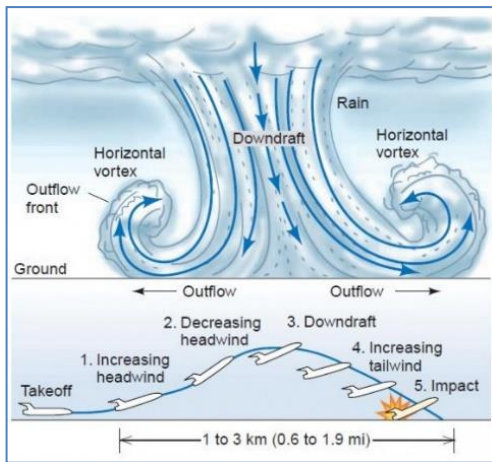
BMKG sebagai perwakilan tetap Indonesia dalam organisasi meteorologi dunia (WMO) berfungsi sebagai pusat pengumpulan data nasional,

selanjutnya data tersebut diteruskan ke pusat data internasional tiap 3 jam melalui saluran jaringan telekomunikasi global (Gambar 1). Setelah data meteorologi terkumpul, model prakiraan cuaca numerik dibuat dengan mengasimilasi data observasi tersebut oleh beberapa pusat prakiraan cuaca internasional seperti NOAA (Amerika Serikat), ECMWF (Eropa). Hasil prakiraan tersebut diinformasikan kembali ke berbagai negara di seluruh dunia, selanjutnya luaran model tersebut dapat digunakan lebih lanjut oleh negara yang berminat untuk membuat prakiraan cuaca skala regional dan lokal [7].

Seiring dengan peningkatan kapasitas BMKG untuk pelayanan penerbangan, Bandara Ngurah Rai di Provinsi Bali telah dilengkapi dengan radar cuaca, data satelit MTSAT, *Automated Weather Observing System* (AWOS), taman alat Sinoptik dan *Automatic Weather Station* (AWS), Pibal, dan *Lightning Detector*. Khusus untuk data satelit Himawari dapat diakses setiap 10 menit sejak tahun 2017, demikian halnya dengan data radar cuaca, sedangkan data AWOS dapat diakses setiap menit.

Pada tanggal 13 April 2013 pukul 14.00-15.00 WIB telah terjadi musibah jatuhnya pesawat Lion Air Boeing 737-800 di sekitar Laut Bali sebelum dapat mendarat di Bandara Ngurah Rai, Bali. Pesawat Lion Air Boeing 737-800 lepas landas dari Bandara Husein Sastra Negara Bandung pukul 12.00 WIB dan diperkirakan mendarat di Bandara Ngurah Rai pukul 15.00 WIB. Pesawat itu membawa penumpang 100 orang dan kru sebanyak 7 orang. Diperkirakan penyebab kecelakaan adalah faktor meteorologis karena pada saat pendaratan kondisi cuaca berawan dan pesawat melakukan manuver di sekitar bandara tujuan.

Proses fisis pertumbuhan awan diawali dengan udara naik ke atas, pada ketinggian tertentu udara tersebut akan berkondensasi membentuk awan (cumulus). Beberapa sel awan cumulus yang bergabung atau awan cumulus tunggal yang memiliki energi cukup kuat dapat membentuk awan Cumulonimbus (Cb). Di dalam awan Cb tersebut terdapat adanya udara naik dan udara turun yang membangkitkan hujan. Bila pada saat pesawat akan mendarat atau lepas landas posisinya berada dibawah pertumbuhan Cb tersebut maka akan sangat berpotensi membahayakan pesawat karena dapat terhempas akibat *microburst*. *Microburst* adalah massa udara relatif dingin yang, karena kepadatannya, turun dari awan-awan cumulus dan menyebar secara horizontal saat sampai dipermukaan [8]. *Microburst* seringkali berasosiasi dengan hujan lebat dan badai (*“wet” microburst*) tapi pada lingkungan kering tidak disertai hujan sampai permukaan (*“dry” microburst*). Ilustrasi *microburst* ditunjukkan pada Gambar 2 [9].



Gambar 2. Ilustrasi microburst pada awan Cumulus/Cb [9]

Kejadian meteorologi lainnya yang berpotensi membahayakan pendaratan pesawat adalah adanya *Low-Level Wind Shear (LLWS)* yang disebabkan oleh adanya perubahan arah dan kecepatan angin yang tiba-tiba dan signifikan. *Microburst* dan LLWS dapat diamati secara visual dengan memperhatikan pergerakan pepohonan disekitar bandara, sensor anemometer, atau *wind shock* yang dipasang di tepi landas pacu [6]. Metode lainnya yang digunakan untuk mendeteksi *microburst* adalah dengan data reanalisis model cuaca numerik beresolusi tinggi untuk menghitung nilai vortisitas, dan angin vertikal [10].

Kajian ini akan lebih difokuskan untuk membahas pengaruh *microburst* dan LLWS pada jalur penerbangan pada saat pesawat Lion Air akan mendarat yang berpotensi menyebabkan terjadi kecelakaan pesawat. Dalam penelitian ini, akan diidentifikasi kondisi cuaca saat jatuhnya pesawat Lion Air di sekitar Bandara Ngurah Rai dengan membandingkan data meteorologis baik dari hasil pemodelan, data observasi resolusi tinggi seperti radar cuaca [11] maupun data *Flight Data Recorder (FDR)* yang berasal dari *black box* pesawat.

2. Metode Penelitian

Data meteorologi yang digunakan untuk menggambarkan kondisi cuaca saat terjadinya musibah kecelakaan pesawat Lion Air adalah sebagai berikut:

- 1) Data satelit cuaca MTSAT resolusi 4km kanal IR1, Vis pukul 14.00-15.00 WIB yang digunakan untuk menduga potensi terjadinya *microburst*.
- 2) Data radar cuaca resolusi 500 meter per 10 menit dari Stasiun Meteorologi BMKG Ngurah Rai Bali untuk identifikasi awan hujan.
- 3) Data model NWP global JMA pukul 14.00 - 15.00 WIB pada level paras permukaan, 1000 dan 850 mb (setara dengan 1000-6000 kaki)

yang digunakan untuk menduga potensi terjadinya *microburst* dan LLWS.

- 4) Data AWOS pada Bandara Ngurah Rai, Bali.
- 5) Data FDR pesawat yang diperoleh dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT).

Untuk menelusuri penyebab terjadinya musibah pesawat lion Air Boeing 737-800 di Bandara Ngurah rai digunakan beberapa metode pendekatan, yaitu:

- 1) Menganalisis data satelit MTSAT kanal IR1 pukul 14.00-15.00 WIB untuk mengetahui suhu puncak awan dari satelit MTSAT digunakan metoda radiasi *Plank*. Suhu puncak awan digunakan untuk menaksir tinggi puncak awan dengan metode *lapserate* [12] dan sekaligus untuk menduga curah hujan saat itu (*now casting*). Sesuai dengan persamaan gas mulia, udara dikatakan basah bila memiliki kelembapan udara (RH) > 65 %, sebaliknya udara dikatakan kering bila RH < 65 %. Bila udara bergerak keatas sampai pada lapisan kondensasi (suhu udara nol) maka udara tersebut akan mengalami penurunan suhu sebesar 0,98°C/100-meter untuk udara kering dan mengalami penurunan suhu 0,65°C/100-meter untuk udara basah [13]. Dalam kajian ini udara mulai dari permukaan sampai lapisan kondensasi dianggap udara kering, sedangkan dari lapisan kondensasi sampai puncak awan suhu udara dianggap basah. Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$dT/dz = - 0,65^{\circ}\text{C}/100\text{-meter} \quad (1)$$

untuk udara basah

$$dT/dz = - 0,98^{\circ}\text{C}/100\text{-meter} \quad (2)$$

untuk udara kering

Dalam prakteknya untuk menghitung tinggi puncak awan (H) secara sederhana dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$H = (T_{\text{maks}}/0,98 - T_{\text{pa}}/0,65) * 100 \quad (3)$$

Dimana, T_{maks} adalah suhu udara maksimum permukaan, dan T_{pa} adalah suhu udara puncak atmosfer.

Bukti adanya indikasi *wet microburst*, dilakukan dengan menghitung curah hujan hasil konversi dari suhu puncak awan. Prakiraan curah hujan (CH) yang dibangkitkan awan Cb menggunakan prediktor suhu puncak awan kanal IR1 dapat dihitung dengan model *Vincente*. Estimasi CH model *Vincente* secara matematis yang dilakukan dalam kajian ini disajikan sebagai berikut [14]:

$$Y = a * (e^{bx}) \quad (4)$$

Dimana Y adalah prediktan (CH jam-jaman), a dan b adalah konstanta empiris, x adalah prediktor (suhu puncak awan), konstanta a adalah $0,3 \cdot 10^{11}$ dan konstanta b adalah $-3,6382 \cdot 10^{-2}$.

Hasil eksperimen estimasi CH yang dilakukan oleh Vicente [14] di Amerika bagian tengah dan di teluk Meksiko dengan resolusi spasial 4 km hasilnya disajikan seperti pada Gambar 3. Sebelum memulai perhitungan dilakukan klasifikasi jenis awan terlebih dahulu [15]. Perhitungan estimasi curah hujan pada kajian ini, menggunakan model Vicente modifikasi, yaitu dengan memberikan nilai $CH=0$, jika ditemui jenis awan cirrus.

- 2) Dengan menggunakan data model NWP global JMA dapat diketahui karakter angin di berbagai lapisan atmosfer. Data angin pada lapisan permukaan dan 1000 mb digunakan untuk mendeteksi adanya LLWS di sekitar bandara.
- 3) Membuat peta posisi pesawat dan data meteorologi pada saat pesawat akan mendarat di sekitar bandara berdasarkan data FDR.
- 4) Melakukan analisis data radar untuk melihat distribusi hujan dan kondisi yang dapat membangkitkan *downburst* dan *downdraft* saat pesawat Lion Air akan melakukan pendaratan. Untuk menduga CH dari radar menggunakan hasil empiris seperti persamaan berikut [16]:

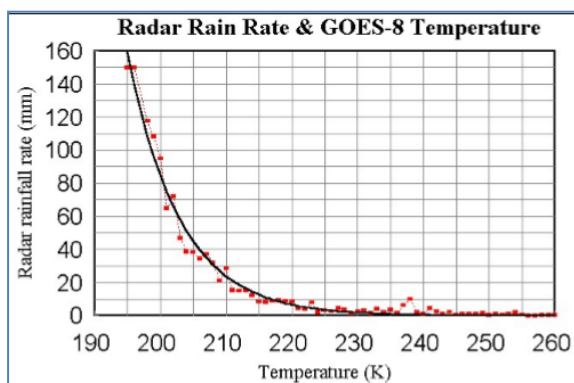
$$Z = 300 R^{1.4} \quad (5)$$

Dimana:

Z = reflektifitas (decibel, dBZ)

R = *Rain rate* (mm/jam)

- 5) Menggunakan data AWOS stasiun meteorologi Bandara Ngurah Rai Bali untuk analisis data visibilitas dan kecepatan angin.



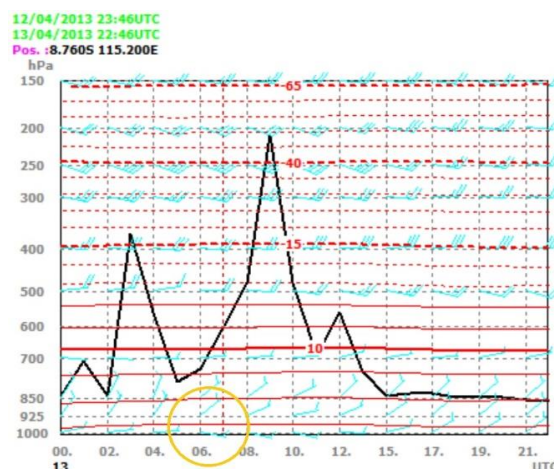
Gambar 3. Estimasi CH Model Vicente untuk wilayah Amerika tengah dan teluk Meksiko

3. Hasil dan Pembahasan

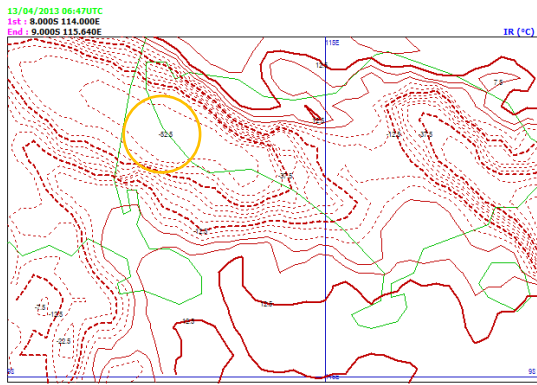
Untuk menganalisa faktor meteorologis yang berpotensi menyebabkan terjadinya musibah pesawat Lion Air digunakan data model global, satelit MTSAT Kanal IR1, radar, AWOS disekitar Bandara Ngurah Rai Denpasar, Bali dan data FDR pesawat.

Berdasarkan data model NWP Global JMA tanggal 13 April 2017 pukul 06.00 UTC kecepatan angin permukaan berkisar 10-15 knot dari arah timur, sedangkan pada lapisan 925 mb angin dari arah timur laut dengan kecepatan 15 knot (Gambar 4). Fluktuasi suhu puncak awan (garis hitam) berkisar antara $-5^{\circ}C$ hingga $-49^{\circ}C$ mengindikasikan adanya tutupan awan yang tebal dan tinggi. Selain itu, di sekitar Bandara Ngurah Rai tampak adanya LLWS yaitu pada lapisan 1000 mb atau sekitar 150 meter di atas permukaan laut (mdpl) dominan angin timuran kecepatan 5-10 knot dan keadaan angin di atasnya pada level 925 mb atau sekitar 350 mdpl dominan angin utara-timur laut/utara dengan kecepatan antara 10-15 knot. Berdasarkan data model NWP tersebut tampak bahwa di sekitar bandara terdapat *wind shear* arah vertikal yang bisa cukup berpengaruh terhadap pendaratan pesawat [17].

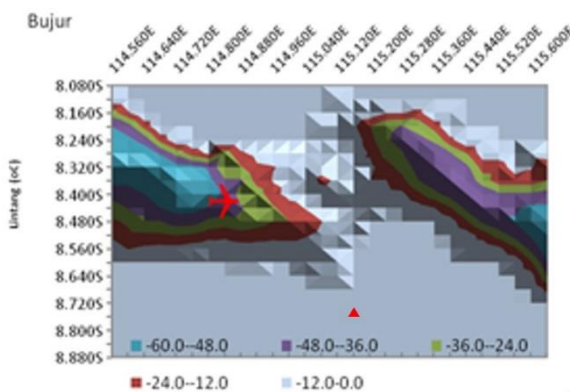
Dari hasil pantauan suhu puncak awan oleh satelit MTSAT (Gambar 5 dan Gambar 6) tampak bahwa disekitar bandara tumbuh awan Cb dengan suhu terendah berkisar -48 s/d $-60^{\circ}C$ (mencapai $-52,5^{\circ}C$) [15] yang posisinya berada di sebelah barat landas pacu. Hal ini memperkuat analisa data model global sebelumnya. Dengan mengetahui suhu puncak awan dari hasil pantauan satelit MTSAT dapat diperkirakan tinggi puncak awan menggunakan model *lapse rate*. Gambar 7 menunjukkan bahwa tinggi puncak awan maksimum yaitu antara 10 - 12 km pada jarak sekitar 20 km di sebelah barat Bandara Ngurah Rai.



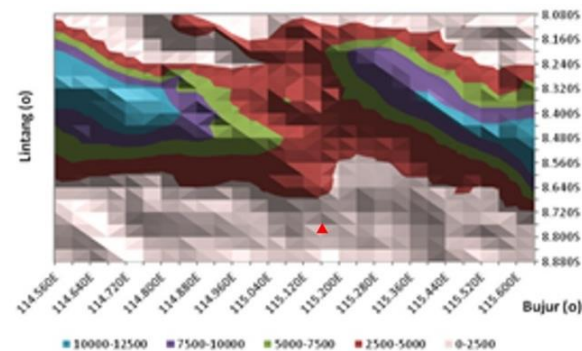
Gambar 4. Time series data angin arah vertikal pukul 00.00-21.00 UTC di sekitar bandara Ngurah Rai Bali.



Gambar 5. Suhu puncak awan tgl 13 April April 2017 pukul 06.47 UTC berdasarkan satelit MTSAT mencapai -52,5 °C.

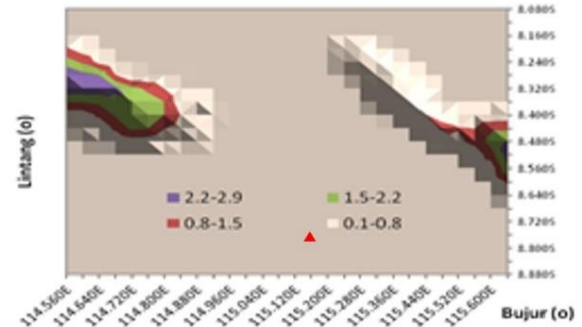


Gambar 6. Kontur suhu puncak awan tgl 13 April April 2017 pukul 06.47 UTC di sekitar Bandara Ngurah Rai (segitiga merah) berdasarkan satelit MTSAT.



Gambar 7. Kontur tinggi puncak awan tgl 13 April 2017 pukul 06.47 UTC di sekitar Bandara Ngurah Rai.

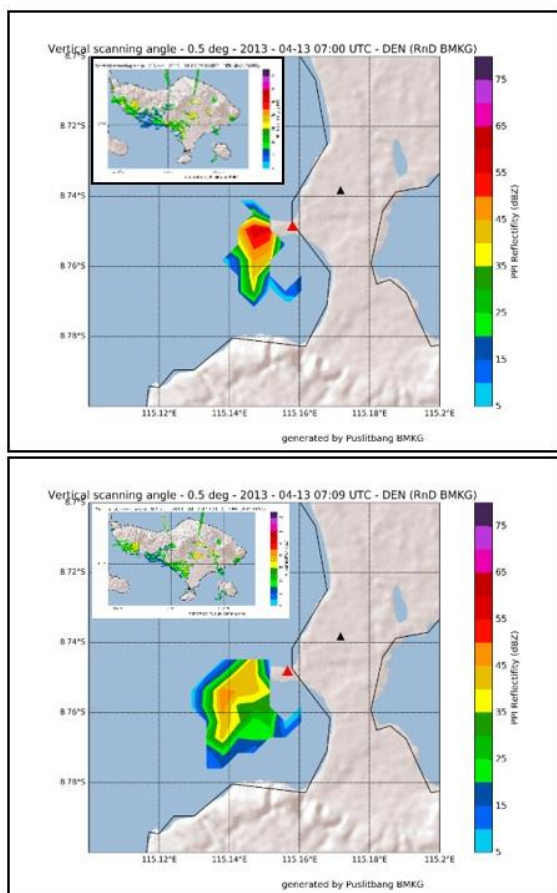
Berdasarkan suhu puncak awan dapat diklasifikasikan jenis awan kemudian dapat diestimasi curah hujan menggunakan model *Vicente* yang telah dimodifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan data satelit, potensi hujan berkisar 0,1 - 3 mm/jam (ringan) terjadi pada jarak sekitar 20 km di sebelah barat landas pacu Bandara Ngurah Rai.



Gambar 8. Kontur estimasi curah hujan tanggal 13 April 2017 pukul 06.47 UTC menggunakan model *Vicente* Modifikasi.

Hasil analisis data radar BMKG pukul 07.00 – 07.10 UTC disajikan pada Gambar 9. Pada inset gambar 9 menunjukkan bahwa pada jarak sekitar 20 km disebelah barat Bandara Ngurah Rai terdapat tutupan awan yang cukup luas seperti yang direkam oleh data satelit MTSAT. Akan tetapi, data radar juga menunjukkan bahwa pada jarak sekitar 2 - 3 km di sebelah barat landas pacu tampak tumbuh awan Cumulus/Cb dengan luas kurang dari 2x2 km² dan nilai reflektifitas berkisar 45 s/d 60 dBz yang mengindikasikan adanya awan Cb dengan potensi hujan sedang hingga lebat. Hal ini karena resolusi spasial data radar yang cukup tinggi (500 m) dan data radar dapat merekam awan-awan rendah lebih baik.

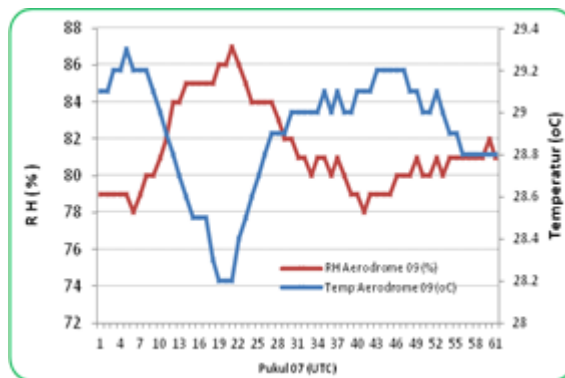
Studi sebelumnya dari Zhang dkk [18] menyebutkan bahwa awan yang tumbuh dengan bentangan antara 1-2,5 nm (nautical mile) sudah dapat membangkitkan *microburst*. Hasil pengamatan radar cuaca BMKG (Gambar 9) bahwa bentangan atau luas dasar awan kurang dari 2x2 km² keadaan ini telah memenuhi untuk membangkitkan terjadinya *microburst*.



Gambar 9. Analisis data radar cuaca BMKG tanggal 13 April 2017 pukul 07.00 – 07.10 UTC di sekitar Bandara Ngurah Rai (segitiga merah). Segitiga hitam adalah pusat radar.

Berdasarkan pantauan awan dari satelit MTSAT dan diperkuat dengan analisis data radar, tampak di sebelah barat Bandara Ngurah Rai berjarak sekitar 2-3 km tumbuh awan Cumulus/Cb dengan nilai reflektifitas 45 s/d 60 dBz mengindikasikan di lokasi tersebut terjadi hujan sedang lebat.

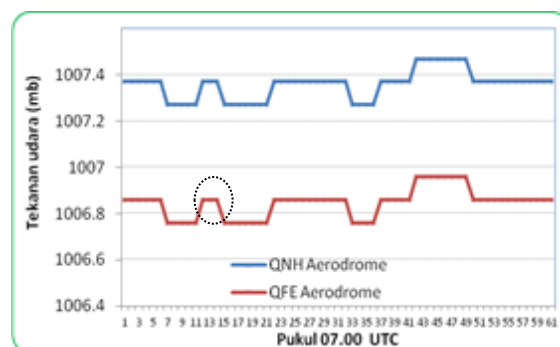
Untuk keperluan pendaratan atau lepas landas selain data radar dan satelit juga diperlukan data meteorologi di aerodrome. Hasil analisis data AWOS Bandara Ngurah Rai pada tanggal 13 April 2017 pukul 07.00 s/d 08.00 UTC meliputi unsur temperatur dan kelembapan relatif seperti ditampilkan pada Gambar 10.



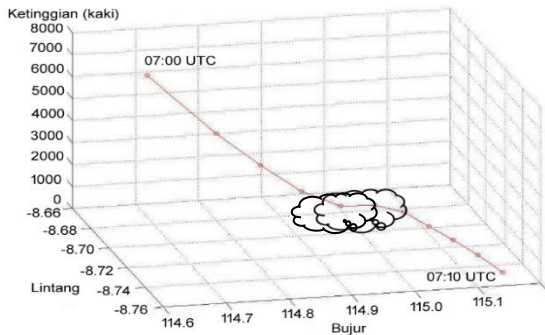
Gambar 10. Time series temperatur udara aerodrome dan kelembapan relatif (dalam menit) tanggal 13 April 2017 pukul 07.00 s/d 08.00 UTC

Dari Gambar 10 tersebut tampak bahwa pada saat pesawat akan mendarat kelembapan udara umumnya cukup tinggi yaitu berkisar 78 - 87 %, dan temperatur berkisar 28,2 - 29,2 °C. Selama selang waktu 1 jam antara pukul 07.00 s/d 08.00 UTC temperatur udara maksimum 29,3 °C terjadi pada pukul 07.05 UTC, sedang suhu udara minimum 28,2 °C terjadi pada pukul 07.20 UTC. Hal ini menguatkan bahwa pada saat itu cuaca di Bandara Ngurah Rai tumbuh awan dengan cepat dan terjadi hujan ringan.

Sedangkan hasil analisis unsur tekanan udara aerodrome (QFE) dan permukaan laut (QNH) disajikan pada Gambar 11, tampak bahwa pada saat pesawat akan mendarat tekanan udara aerodrome berkurang dari ~1006,9 mb menjadi ~1006,7 mb (tanda lingkaran putus-putus). Sedangkan tekanan udara permukaan laut berubah dari ~1007,4 menjadi ~1007,3 mb. Berdasarkan time series data tekanan udara permukaan per jam, antara pukul 07 - 08 UTC, terdapat perubahan nilai tekanan udara tinggi ke tekanan udara rendah sehingga sebagai indikasi adanya angin turun (*microburst*).



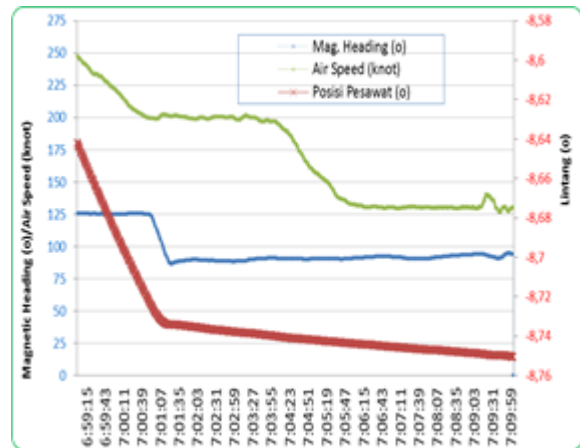
Gambar 11. Time series tekanan udara aerodrome (QFE) dan Permukaan laut (QNH) Tanggal 13 April 2017 pukul 07.00 - 08.00 UTC di bandara Ngurah Rai.



Gambar 12. Jalur penerbangan pesawat Lion Air Boeing 737-800 tanggal 13 April 2013, pukul 07.00-07.10 UTC berdasarkan data FDR pesawat.

Secara rinci lokasi terjadinya turbulensi sesuai dengan rekonstruksi jalur penerbangan pesawat Lion Air Boeing 737-800 yang diperoleh dari data FDR pesawat dapat dilihat pada Gambar 12. Gambar 12 menunjukkan bahwa pada pukul 07.00 UTC pesawat berada pada ketinggian 6000 kaki (1800 meter) kemudian turun secara drastis dalam waktu 4 menit menuju ketinggian sekitar 1000 kaki (300 meter) pada pukul 07.04 UTC, sebelum akhirnya jatuh pada pukul 07.10 UTC. Hal ini menunjukkan adanya daya hempas ke bawah yang sangat kuat dan menyebabkan pesawat turun secara drastis dengan rata-rata 375 meter/menit pada 07.00 – 07.04 UTC. Hal ini mengindikasikan potensi terjadinya *microburst* yang berdampak pada kecelakaan pesawat terbang. Bukti lain bahwa pesawat Lion Air berpotensi terkena pengaruh *microburst* dan LLWS dapat diketahui dari data FDR yang meliputi ketinggian pesawat (*pressure altitude*), posisi pesawat (lintang), arah terbang pesawat (*magnitude heading*), dan kecepatan pesawat relatif terhadap udara (*air speed*) seperti disajikan pada Gambar 13.

Dari Gambar 13 tampak bahwa pada pukul 07.01.07 UTC *heading* pesawat relatif konstan yaitu sekitar 80° , posisi pesawat semula berada pada $8,73^\circ$ LS berangsur-angsur bergeser ke selatan mencapai $8,75^\circ$ LS pada pukul 07.09.59 UTC. Sedangkan kecepatan pesawat relatif terhadap udara berkisar 200 knot hingga pukul 07.03.55 UTC dan selanjutnya kecepatan semakin berkurang hingga 130 knot pada pukul 07.05.47 UTC dan pada pukul 07.09.30 UTC kecepatan sedikit melonjak mencapai 145 knot dan akhirnya turun mencapai 125 knot. Pergeseran heading dan perubahan kecepatan pesawat yang cukup cepat, dipengaruhi oleh adanya daya hempas di bawah awan Cb. Selain itu, berdasarkan *voice data recorder (VDR)* pesawat sesuai laporan Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) [19] diperoleh informasi bahwa sebelum pendaratan, terdengar suara hujan dalam kokpit pesawat, sehingga hal tersebut berpotensi mengganggu pendaratan dan pesawat mengalami *wet microburst*.



Gambar 13. Time series elevasi, posisi, kecepatan, dan arah terbang pesawat antara pukul 06.15 s/d 07.10 UTC di sekitar Bandara Ngurah Rai Bali berdasarkan data FDR pesawat.

4. Kesimpulan

Pesawat Lion Air Boeing 737-800 jatuh di laut Bali sebelum mencapai landasan di Bandara Ngurah Rai, Bali pada tanggal 13 April 2013 sekitar pukul 14.00-15.00 WIB (07.00 – 08.00 UTC). Kecelakaan ini diduga disebabkan oleh potensi terjadinya *microburst* dan LLWS pada saat pesawat akan mendarat. Hal ini didukung oleh analisis data satelit MTSAT, radar cuaca di dekat Bandara dan AWOS serta hasil analisis data global JMA. Pesawat diduga mengalami gangguan LLWS yang ditengarai adanya perubahan arah dan kecepatan angin pada lapisan 925 mb dan permukaan. Data FDR pesawat menunjukkan adanya kekuatan daya hempas ke bawah yang sangat kuat dan menyebabkan pesawat turun secara drastis dengan rata-rata 375 meter/menit dari ketinggian 6000 kaki pada 07.00 UTC menuju ketinggian 1000 kaki pada 07.04 UTC sebelum akhirnya jatuh pada pukul 07.10 UTC. Hal ini mengindikasikan potensi terjadinya *microburst* yang berakibat pada kecelakaan pesawat terbang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG atas dukungan dalam penyusunan artikel ini. Selain itu, penulis juga berterimakasih kepada Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) atas izin untuk mengakses data FDR pesawat Lion Air Boeing 737-800.

Daftar Pustaka

- [1] Airbus: A statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2017, accessed 12 April 2019 at <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4342.pdf>
- [2] Li, G., Baker, S. P., Grabowski, J. G., & Rebok, G. W. (2001). Factors associated with pilot error in aviation crashes. *Aviation, space, and environmental medicine*, 72(1), 52-58.
- [3] WMO. (2007). Aviation Hazards, Education and Training Programme, ETR-20. WMO/TD-No. 1390, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1-2.
- [4] Henk, K. (2014). Criteria for crosswind variations during approach and touchdown at airports us. *Joint Symposium of DFG FOR 1066 and DLR-Airbus C 2A2S2E "Simulation of Wing and Nacelle Stall"* Braunschweig, Germany.
- [5] Xu, T. (2019). Characteristics of low-level wind shear in Qinghai Xining Airport. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 688, No. 2, p. 022030.
- [6] Spencer, R. dan Tynan, M. (2015). Windshear, Microbursts, Thunderstorms And Lightning Strikes: phenomenon A Identification And Impacts In Flight, Report.
- [7] WMO. (2007). Guide to the Global Observing System. Report WMO-No.488, World Meteorological Organization.
- [8] Wilson, J. W., R. D. Roberts, C. Kessinger, dan J. McCarthy (1984) Microburst wind structure and evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, 898-915.
- [9] <http://geography.name/thunderstorms-2>. diakses 10 November 2017
- [10] Straka, J.M. dan J.R. Anderson. (1993). Numerical Simulations of Microburst-producing Storms: Some Results from Storms Observed during COHMEX. *J. Atmos. Sci.*, 50, 1329-1348, <https://doi.org/10.1175/1520-0469>
- [11] Tuttle, J.D., V.N. Brangi, H.D. Orville, and F.J. Kopp, 1989: Multiparameter Radar Study of a Microburst: Comparison with Model Results. *J. Atmos. Sci.*, 46, 601-620, <https://doi.org/10.1175/1520-0469>
- [12] Almethen, Osama M. dan Aldaithan, Zayed S. (2017). The State of Atmosphere Stability and Instability Effects on Air Quality. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, Volume 6, issue 4, 74-79.
- [13] Barry, R.G. dan Chorley, R.J. (2003). Atmosphere, weather and climate, 8th edition (1st edition 1968). Routledge, London, p 25
- [14] Vicente, G. A., Scofield, R. A., dan Menzel, W. P. (1998). The operational GOES infrared rainfall estimation technique. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 1883- 1898.
- [15] Suseno, D. P. Y., dan Yamada, T. J. (2012). Two-dimensional, threshold-based cloud type classification using MTSAT data. *Remote sensing letters*, 3(8), 737-746.
- [16] Woodley, W.L. dan Rosenfeld, D. (2004). The Development and Testing of a New Method to Evaluate the Operational Cloud-Seeding Programs in Texas. *J. Appl. Meteorol.* 43, 249-263.
- [17] Horonjeff, R., McKelvey, F. X., Sproule, W. J., dan Young, S. B. (2010). Planning and Design of Airports, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [18] Zhang, Y., Sarkar, P., dan Hu, H. (2014). An experimental study on wind loads acting on a high-rise building model induced by microburst-like winds. *Journal of Fluids and Structures*, 50, 547-564.
- [19] Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2014). Laporan Final 13.04.09.04. PT. Lion Mentari Airlines (Lion Air) Boeing 737 -800; PK-LKS Ngurah Rai International Airport, Bali Republic of Indonesia 13 April 2013