

# Analisis Penyebab Kejadian Kecelakaan Pesawat Udara di Indonesia dengan Pendekatan *the Shell Model*

Jesika Indriani<sup>1</sup>, Mona Lestari<sup>\*1</sup>, Novrikasari<sup>1</sup>, Rizka Faliria Nandini<sup>1</sup>

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sriwijaya<sup>1</sup>

Jl. Raya Palembang-Prabumulih KM. 32 Indralaya Ogan Ilir, Sumatera Selatan 30662, Indonesia

E-mail: mona\_lestari@unsri.ac.id\*

Diterima: 15 April 2022, disetujui: 25 Januari 2023, diterbitkan *online*: 30 Juni 2023

## Abstrak

Hingga saat ini, kecelakaan pesawat udara masih tidak bisa dihindari meskipun telah didukung dengan kemajuan teknologi aeronautika dan adanya ramalan cuaca. Kecelakaan dalam penerbangan dapat berakibat fatal sehingga menimbulkan kekhawatiran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang berperan dalam kejadian kecelakaan pesawat udara di Indonesia melalui pendekatan *the shell model*. Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dengan metode kualitatif melalui wawancara mendalam dengan informan penelitian dan melakukan telaah literatur. Komponen yang diteliti, berdasarkan *the shell model*, meliputi faktor manusia, mesin, standar/prosedur, dan lingkungan. Literatur menyebutkan bahwa kecelakaan pesawat udara di Indonesia paling banyak disebabkan oleh faktor manusia (67,12%). Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa kecelakaan pesawat udara di Indonesia tidak disebabkan oleh faktor tunggal, melainkan faktor-faktor lain yang saling mempengaruhi sehingga mengakibatkan kecelakaan. Faktor-faktor tersebut adalah faktor manusia, mesin, standar/prosedur, dan lingkungan yang saling berhubungan satu sama lain sehingga membentuk komponen-komponen penting dalam penerbangan. Terjadinya ketidakseimbangan pada salah satu komponen tersebut dapat mempengaruhi komponen lainnya sehingga dapat mengakibatkan kegagalan dalam penerbangan. Kesalahan pilot bukan merupakan satu-satunya penyebab terjadinya kecelakaan, melainkan adanya faktor-faktor lain yang turut andil dalam kejadian tersebut. Beberapa temuan yang diketahui turut andil dalam terjadinya kecelakaan pesawat udara adalah penumpang yang tidak mematuhi standar keselamatan di dalam pesawat udara, seperti tidak menonaktifkan handphone atau mengubah ke mode pesawat udara, penggunaan mesin pesawat udara yang lama dengan alasan masih layak pakai padahal mesin dan pesawat udara telah ditentukan batas waktu penggunaannya, faktor personal atau pekerjaan pilot itu sendiri, dan cuaca buruk.

**Kata kunci:** faktor manusia, kecelakaan pesawat udara, multifaktor, *the shell model*.

## Abstract

**Analysis of the Causes of Aviation Accidents in Indonesia with the Shell Model Approach:** *Until now, aviation accidents have been inevitable despite breakthroughs in aeronautical technology and weather forecasts. Aviation accidents can be fatal, causing concern. This study aimed to analyze the factors that lead to the occurrence of aviation accidents in Indonesia through the shell model approach. This study used descriptive analysis with qualitative methods through in-depth interviews with research informants and literature studies. The components studied, based on the shell model, are human, machine, standard/procedure, and environmental factors. Based on the literature, aviation accidents in Indonesia are mostly caused by human factors (67.12%). However, the results showed that aviation accidents in Indonesia are caused by a combination of factors that interact to lead to accidents. These factors include humans, machines, standards/procedures, and environments that are interconnected with each other and form important components in aviation. An imbalance in one of these components can affect other components, resulting in failure in flight. Pilot error is not the only cause of the accident; other factors can contribute to the incident. Some of the findings that are known to have contributed to the occurrence of aviation accidents are passengers who do not comply with safety standards on board, such as not disabling cell phones or changing to airplane mode, using old aircraft engines on the grounds that they are still suitable for use even though the engines and aircraft have been determined by the time limit for their use, personal factors or the pilot's own work, and bad weather.*

**Keywords:** *aviation accidents, human factor, multifactor, the shell model.*

## 1. Pendahuluan

Kemajuan zaman telah menyebabkan peningkatan kebutuhan transportasi yang berguna sebagai penunjang kegiatan ekonomi suatu negara karena keduanya memiliki keterkaitan yang erat dan saling mempengaruhi. Transportasi memudahkan

mobilitas seseorang dalam melakukan suatu kegiatan ekonomi. Ketika pertumbuhan ekonomi semakin meningkat, maka kebutuhan transportasi juga meningkat. Transportasi terbagi menjadi tiga jenis yaitu transportasi darat, laut, dan udara. Jumlah kebutuhan transportasi darat yang semakin

doi: <http://dx.doi.org/10.25104/warlit.v35i1.2064>

0852-1824/ 2580-1082 ©2023 Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan.

Artikel ini *open access* dibawah lisensi CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Nomor akreditasi: (RISTEKDIKTI) 10/E/KPT/2019 (Sinta 2).

meningkat dapat menimbulkan masalah seperti kemacetan lalu lintas sehingga dibutuhkan alternatif transportasi lain untuk meminimalkan dampak tersebut [1]. Transportasi udara merupakan salah satu moda transportasi yang bebas dari kemacetan dan dapat digunakan untuk perjalanan jarak menengah dan jarak jauh. Akibatnya, transportasi udara menjadi penyebab sekaligus akibat dari pertumbuhan ekonomi.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sangat membutuhkan transportasi udara untuk menjangkau wilayah yang tidak bisa dilalui oleh transportasi darat maupun laut. Akibatnya, dalam 15-20 tahun ini, Indonesia telah mengalami peningkatan permintaan transportasi udara [2]. Kebutuhan transportasi udara yang semakin bertambah menyebabkan perusahaan-perusahaan menjadi giat bersaing untuk menawarkan berbagai tarif pesawat udara yang murah. Namun, hal tersebut terkadang menjadi alasan pihak penerbangan untuk menurunkan pelayanan dan mengurangi kualitas pemeliharaan pesawat udara sehingga berdampak pada meningkatnya risiko kecelakaan karena berkurangnya keamanan dan keselamatan penerbangan [3]. Kecelakaan transportasi udara merupakan kecelakaan yang jarang terjadi jika dibandingkan dengan transportasi darat. Akan tetapi, kecelakaan pesawat udara merupakan bencana yang sangat dahsyat dan dapat memakan banyak korban [4]. Korban kecelakaan pesawat udara tidak hanya *flight crew* dan penumpang saja, tetapi juga lokasi terjadinya kecelakaan jika kecelakaan terjadi di daratan atau pemukiman padat penduduk.

Data International Civil Aviation Organization (ICAO) dalam kurun waktu tahun 2012 hingga 2018 menunjukkan bahwa angka kecelakaan penerbangan secara global tertinggi terjadi pada tahun 2012 dengan 3,2 kecelakaan per satu juta kali keberangkatan. Penurunan intensitas kecelakaan terendah terjadi pada tahun 2016 dengan 2,2 kecelakaan per satu juta kali keberangkatan atau sebesar 24,1%. Namun pada tahun 2017, terjadi peningkatan kecelakaan transportasi udara dari 2,4 kecelakaan per satu juta keberangkatan menjadi 2,6 kecelakaan pada tahun 2018. Kecelakaan fatal terjadi pada tahun 2018 yang dialami oleh pesawat udara komersial penumpang maupun kargo di dunia dan mengakibatkan 514 kematian. Aviation Safety Network menyebutkan bahwa satu diantara kecelakaan tersebut dialami oleh maskapai Uni Eropa dan dua lainnya dari maskapai Kuba dan Indonesia [5].

Di Indonesia, kecelakaan pesawat udara sudah beberapa kali terjadi. Pada tahun 2018, pesawat udara Lion Air dengan rute penerbangan Jakarta-Pangkalpinang jatuh sesaat setelah tinggal landas. Selanjutnya, di awal tahun 2021, pesawat udara Sriwijaya Air hilang kontak dan jatuh di perairan

Kepulauan Seribu. Federal Aviation Administration (FAA) mengeluarkan pengumuman bahwa keselamatan penerbangan Indonesia berada pada kategori 2 yang artinya keselamatan penerbangan di suatu negara tidak dilaksanakan dengan baik, pengawasan yang tidak layak, dan peraturan yang tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh ICAO. Pada tahun 2016, keselamatan penerbangan Indonesia kembali dinyatakan berada pada kategori 1 oleh FAA. Pada tahun 2017 ICAO kembali mengaudit Indonesia dan hasilnya adalah 80,34% [6].

Secara universal, sekitar 75-80% penyebab kecelakaan pesawat udara adalah faktor manusia [7]. Guru besar psikologi, James Reason juga menuturkan bahwa 90% penyebab kecelakaan penerbangan adalah *human error*. Faktor manusia sebagai penyebab terbesar kecelakaan penerbangan dipengaruhi oleh faktor kelelahan (*fatigue*), stress, keraguan dalam mengambil keputusan, kurangnya pengalaman dan pengetahuan, serta kesalahpahaman yang bisa saja dialami pilot and co-pilot, petugas keamanan penerbangan, tenaga perawatan pesawat udara, maupun penumpang itu sendiri [8]. Selain itu, ada faktor lain yang juga berpengaruh terhadap kecelakaan penerbangan yaitu faktor lingkungan seperti cuaca buruk dan faktor teknis seperti *Instrument Landing System* (ILS) dan kondisi pesawat udara. ILS digunakan pilot sebagai instrumen pendaratan agar pesawat udara mudah mendarat dalam segala kondisi cuaca, sedangkan kondisi pesawat udara meliputi usia pesawat udara, beban angkut, jenis dan tipe, serta pengoperasian pesawat udara. Hal-hal tersebut perlu diperhatikan untuk memastikan agar pesawat tetap layak terbang [9].

Dengan meningkatnya transportasi penerbangan sipil global, maka semakin banyak penelitian dilakukan untuk menganalisis penyebab terjadinya kecelakaan penerbangan [10]. Keselamatan merupakan elemen dasar dalam transportasi udara. Beragam regulasi terkait penerbangan dirancang dan disahkan untuk memenuhi tingkat keselamatan yang tinggi. Pasal 44 Konvensi Chicago menjelaskan bahwa tujuan utama terbentuknya ICAO adalah untuk memastikan keamanan dan ketertiban penerbangan sipil internasional di seluruh dunia [4]. Di Indonesia, investigasi kecelakaan telah diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 74 Tahun 2017 Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 830 tentang Prosedur Investigasi Kecelakaan dan Kejadian Serius Pesawat Udara Sipil yang bertujuan sebagai tindakan pencegahan kecelakaan [11].

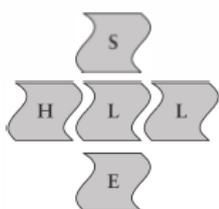
Secara harfiah, definisi keselamatan adalah merdeka dari bahaya atau risiko. Transportasi udara hingga saat ini masih merupakan jenis transportasi paling aman dibandingkan jenis transportasi lainnya. Namun, tetap tidak ada jaminan bahwa pesawat

udara akan bebas dari bahaya atau kecelakaan. Semua faktor memiliki peran dalam melatarbelakangi terjadinya kecelakaan. Oleh karena itu, usaha pencegahan tetap perlu dilakukan. Permasalahan tersebut mengakibatkan perlunya kajian lebih lanjut mengenai analisis kejadian kecelakaan pesawat udara di Indonesia. Terdapat beberapa model untuk menganalisis penyebab kecelakaan pesawat udara, salah satunya adalah *the shell model*. *The shell model* memberikan gambaran interaksi antara manusia (*at the centre of the model*) dan *workplace components*. Komponen-komponen dalam *the shell model* yaitu *Software* (prosedur, *checklist*, pelatihan, dan sebagainya), *Hardware* (mesin dan peralatan), *Environment* (lingkungan), dan *Liveware* (manusia dan manusia lainnya) [12]. Menurut teori ini, kelima faktor tersebut harus melengkapi satu sama lain agar tidak terjadi kecelakaan, dan yang menjadi pusatnya yaitu manusia. Ketika terjadi interaksi yang sempurna antara manusia (yang menjadi *center*) dengan komponen lainnya, maka kemungkinan terjadinya kecelakaan akan lebih sedikit. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis faktor-faktor yang berperan dalam kejadian kecelakaan pesawat udara di Indonesia melalui pendekatan *the shell model*.

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang berperan dalam kejadian kecelakaan pesawat udara di Indonesia. Komponen-komponen yang dianalisis dalam penelitian ini mengacu pada *the shell model*, di mana proses penilaian dilakukan dengan melihat bagaimana interaksi antar komponen dengan manusia sebagai *center* (Gambar 1) [13].

Interaksi yang dinilai yaitu *Liveware to Software* (interaksi antara manusia dengan *supporting systems* yang ada di tempat kerja), *Liveware to Hardware* (interaksi manusia dengan mesin yang digunakan), *Liveware to Liveware* (interaksi manusia dengan manusia lain di tempat kerja), dan *Liveware to Environment* (interaksi antara manusia dengan lingkungan internal dan eksternal). Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan informan, observasi, dan telaah literatur terkait komponen-komponen penelitian. Hal ini bertujuan untuk mengakuratkan hasil wawancara dengan teori. Informan dalam penelitian ini merupakan bagian-bagian terpenting dalam penerbangan yaitu pilot, co-



Sumber: [13]

**Gambar 1.** *the Shell Model*

pilot, *cabin crew*, teknisi, dan pihak manajemen salah satu maskapai yang ada di Indonesia. Alat pengumpulan data berupa pedoman wawancara dan lembar observasi. Observasi dilakukan untuk mengetahui apakah kegiatan yang dilakukan mulai dari proses perekrutan awak kabin, pelatihan yang didapat oleh awak kabin, jam terbang pesawat udara, pengadaan dan pemeliharaan pesawat udara, penggunaan jenis mesin pesawat udara, penerbangan dalam keadaan darurat, penerbangan pada saat cuaca buruk, pendaratan darurat, dan proses *take off* sampai dengan *landing* sudah sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP). Observasi di lapangan dilakukan dengan mengacu pada tujuan dari penelitian yaitu menganalisis penyebab kejadian kecelakaan pesawat udara di Indonesia, dengan mekanisme mengamati secara langsung proses pemeliharaan pesawat udara dan mesin pesawat udara, seperti *schedule maintenance* yang dibantu oleh pihak teknisi dari maskapai. Tahapan pengolahan data yaitu dengan mencatat data hasil observasi secara objektif sesuai dengan hasil wawancara dengan informan, melakukan reduksi data dengan menyingkirkan data yang tidak diperlukan, dan membuat matriks hasil wawancara mendalam dalam bentuk tabel berdasarkan variabel dan pertanyaan sehingga dapat menghasilkan kesimpulan. Analisis data menggunakan analisis kualitatif dalam mengolah hasil wawancara dan studi literatur hasil observasi di lapangan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Kecelakaan Pesawat Udara di Indonesia

Studi literatur yang diperoleh dari data KNKT menunjukkan bahwa kejadian kecelakaan pesawat udara di Indonesia dari tahun 2010 hingga tahun 2016 adalah sebanyak 212 kecelakaan, di mana 142 kecelakaan disebabkan oleh faktor manusia (67,12%) berupa kesalahan koordinasi dan kesalahan informasi antar awak pesawat udara dan ketidaktaatan penumpang terhadap aspek keselamatan, 34 kecelakaan disebabkan oleh faktor teknis (15,75%) yang berkaitan dengan kondisi atau desain dari pesawat udara dan mesin serta pemeliharaan mesin, 26 kecelakaan disebabkan oleh lingkungan (12,33%), yaitu cuaca dan suhu yang tidak dapat dikendalikan, dan 10 kecelakaan disebabkan oleh faktor fasilitas (4,79%) seperti kondisi *runway* yang licin. Data terbaru kejadian kecelakaan pesawat udara di Indonesia dari tahun 2017 hingga 2019 menunjukkan bahwa dari 14 kecelakaan, 68,4% disebabkan oleh faktor manusia, 15,8% faktor teknis, 10,5% faktor fasilitas, dan 5,3% faktor lingkungan [14].

Kecelakaan pesawat udara merupakan suatu kejadian kerusakan atau gangguan yang dialami oleh pesawat udara yang meliputi pesawat udara jatuh (saat tinggal landas, selama penerbangan, atau lepas

landas), tabrakan antar pesawat udara, pesawat udara hilang, dan pesawat udara yang mengalami *serious incident* [15][16]. Faktor manusia berkaitan dengan kesalahan koordinasi dan kesalahan informasi antar awak pesawat udara dan ketidaktaatan penumpang terhadap aspek keselamatan. Sedangkan faktor teknis meliputi kondisi atau desain dari pesawat udara dan mesin serta pemeliharaan mesin. Sementara itu, faktor lingkungan terkait dengan cuaca dan suhu yang tidak dapat dikendalikan, dan faktor fasilitas berkaitan dengan *runway*. Sementara itu, penelitian Shao dkk. menyatakan bahwa penyebab kecelakaan pesawat udara di Taiwan, berdasarkan dari 27 tahun data penerbangan, adalah *icing, turbulence, system failure or malfunction (non-power plant)*, yang artinya kecelakaan-kecelakaan tersebut terjadi karena faktor lingkungan dan mesin [17].

Cowa menyebutkan dalam penelitiannya bahwa laporan *National Transportation Safety Board (NTSB)* yang mereka tulis mengklasifikasikan penyebab kecelakaan menjadi empat kategori utama yaitu *human action, environmental factor, structural failure, dan system failure* [18]. *Human action* dapat berupa kesalahan yang dilakukan oleh *airport ground crew, airline procedure, pilot/co-pilot, flight crew, penumpang, terrorist/criminal, airport operator, dan lain-lain*. Faktor lingkungan meliputi *turbulence, wind gusts, dark night, salju, hujan, api/kebakaran, petir/badai, icing, deer strike, ground vehicle failure, dan lain-lain*. *Structural failure* meliputi *bird strike, kelelahan (fatigue), overstress, perbaikan atau inspeksi (maintenance or inspection), aging/corrosion, design or manufacturing, dan lain-lain*. Terakhir, *system failures* meliputi *electrical unit, hydraulic unit, steering system, dan tangki bahan bakar* [18].

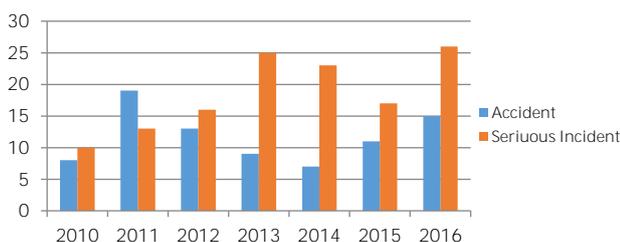
Sementara itu, Belcastro dan Foster mengklasifikasikan faktor penyebab kecelakaan pesawat udara dalam tiga kategori yaitu 1) *adverse onboard conditions* diantaranya *system failures, vehicle impairment, vehicle damage, dan inappropriate crew response*, 2) *vehicle upsets* diantaranya *abnormal attitude, abnormal flight trajectory, uncontrolled descent, stall/departure from controlled flight*, dan 3) *external hazards and disturbances* yang berkaitan dengan kondisi

lingkungan selama penerbangan seperti *poor visibility, wake vortices, salju dan icing condition, dan lain-lain* [19].

KNKT mengklasifikasikan jenis kecelakaan pesawat udara dalam dua kategori, yaitu *accident* dan *serious incident*. *Accident* merupakan suatu kejadian yang berhubungan dengan pengoperasian pesawat udara, di mana kejadian tersebut terjadi antara waktu seseorang menaiki pesawat udara dengan niat untuk terbang hingga orang tersebut telah tiba di tujuan (*disembark*). Sementara itu, *serious incident* adalah suatu kejadian yang melibatkan suatu keadaan yang mengindikasikan bahwa kecelakaan hampir terjadi (*near miss*) [20]. Perbedaan antara *accident* dan *serious incident* terletak pada akibat yang ditimbulkan [21]. Gambar 2 menunjukkan bahwa, baik *accident* maupun *serious incident* cenderung fluktuatif setiap tahunnya. Dari tahun 2011 hingga 2014, kecelakaan pesawat udara di Indonesia mengalami penurunan dan kembali meningkat di tahun 2015 hingga 2016, sementara *serious incident* terus mengalami peningkatan, hingga di tahun 2014 menurun, namun meningkat kembali di tahun 2016 [14]. Selain itu, Gambar 2 juga menunjukkan bahwa *serious incident* yang dialami oleh pesawat udara di Indonesia masih cukup tinggi dari tahun 2010 hingga 2016.

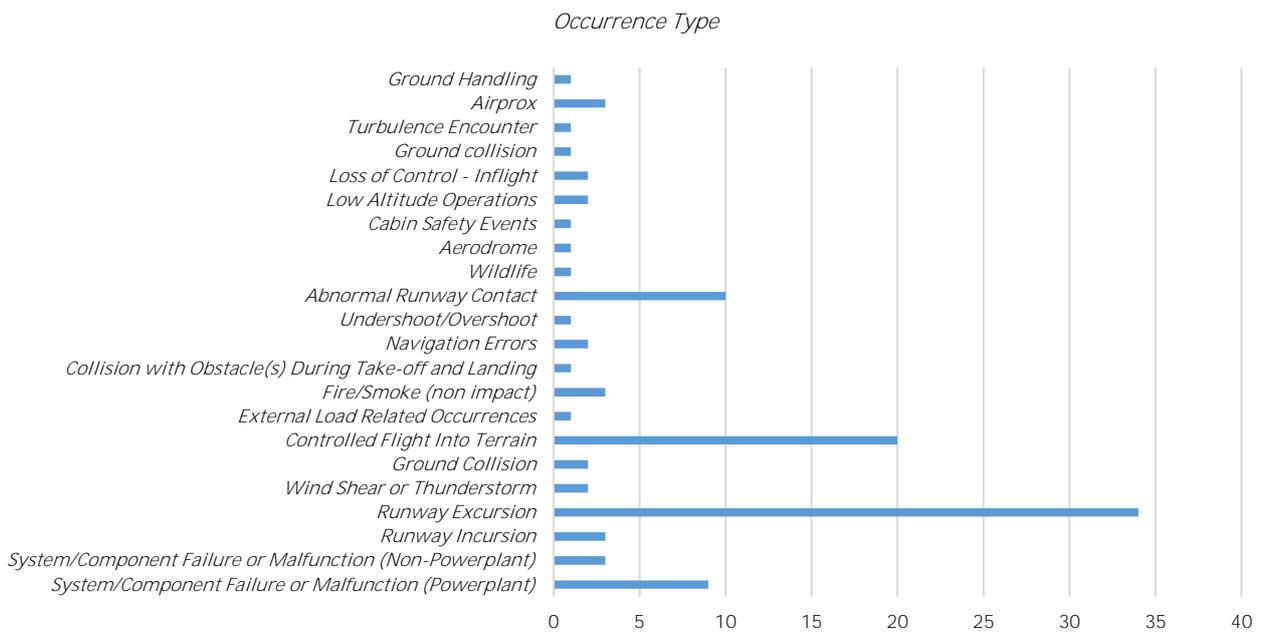
Hasil investigasi yang dilakukan oleh KNKT pada tahun 2010 sampai 2016 menunjukkan bahwa *runway excursion* merupakan *serious incident* yang paling sering terjadi pada tahun-tahun tersebut. Diketahui dari 212 kecelakaan terdapat 88 kejadian *runway excursion*. Data terbaru dari KNKT dari tahun 2010 hingga 2019 juga menunjukkan hal yang sama (Gambar 4). Penelitian Saputra menyatakan bahwa 70% dari total kejadian *runway excursion* tersebut masuk dalam kategori *accident*. Selain itu, diketahui juga waktu kejadian *runway excursion* pesawat udara paling banyak terjadi di pukul 06.00 hingga 11.59, di mana waktu tersebut merupakan puncak jam sibuk lalu lintas udara dan merupakan operasional pergerakan pesawat udara tertinggi di Indonesia sehingga hal tersebut dapat menyebabkan *fatigue* pada pilot/co-pilot [21].

*Runway excursion* merupakan suatu kejadian yang hanya melibatkan satu pesawat udara, di mana pesawat udara tersebut keluar dari *runway* [22]. Data dari the International Air Transport Association (IATA) menunjukkan bahwa dari 432 *commercial accidents*, 98 kecelakaan disebabkan oleh *runway excursions* dan 7 diantaranya menimbulkan korban jiwa (191 penumpang dan kru meninggal) [23]. Penelitian Shao dkk. juga menyatakan bahwa *runway excursion* dan *ground collision* merupakan dua kejadian teratas yang menyebabkan *serious incident* [17]. Risiko yang dapat terjadi akibat *runway excursion* dapat berakibat fatal (*loss of life*). Namun



Sumber: [14]

**Gambar 2.** Investigasi Kecelakaan Penerbangan Tahun 2010-2016



Sumber: Hasil analisis, 2020.

**Gambar 3.** Jenis Kejadian Kecelakaan Pesawat Udara di Indonesia Tahun 2010-2019

di Indonesia, kejadian *runway excursion* belum berakibat fatal (*loss of life*).

### 3.2. Liveware

Dalam *the shell model* terdapat dua komponen *liveware*, yaitu *liveware 1* dan *liveware 2*, di mana *liveware 1* merupakan manusia yang menjadi pusat pada model, sementara *liveware 2* adalah manusia lainnya. *Flight crew* adalah personel yang mengoperasikan pesawat udara ketika terbang. *Flight crew* terbagi dalam dua bagian yaitu *flight deck positions* dan *cabin positions*. *Flight deck positions* umumnya terdiri dari pilot dan co-pilot, sementara *cabin positions* umumnya terdiri dari *purser* atau *in-flight service manager*, *flight attendant* (pramugari-pramugara), dan *flight medic*.

Hasil wawancara menunjukkan bahwa pihak yang terlibat dalam suatu penerbangan memiliki perannya masing-masing. Pilot bertugas untuk menerbangkan pesawat udara dan menjalankan semua SOP. Co-pilot bertugas untuk memantau jalannya mesin dan navigasi. Pilot and co-pilot memegang andil dalam kesamaan misi penerbangan yaitu di saat pilot sedang menerbangkan pesawat udara, co-pilot bertugas memantau jalannya mesin dan ikut membantu dalam hal navigasi. *Cabin crew* bertugas untuk memastikan keselamatan, kenyamanan, dan keamanan penumpang. Selain itu, *cabin crew* juga memberikan demo mengenai penggunaan alat keselamatan, memberikan informasi, menawarkan layanan lain seperti menawarkan makanan, menegur penumpang bila melakukan tindakan yang berisiko, menjadi pemandu ketika terjadi *emergency*, dan memberikan pertolongan pertama pada penumpang yang membutuhkan. Jumlah awak pesawat udara yang

terlibat dalam satu penerbangan disesuaikan dengan jenis dan ukuran pesawat udara. Salah satu maskapai di Indonesia dengan jenis pesawat udara Boeing 737-800 memiliki 4 hingga 5 awak pesawat udara.

Semua awak pesawat udara telah diberikan pelatihan terlebih dahulu sebelum diberi tanggung jawab untuk menjadi awak pesawat udara. Pelatihan untuk pilot dan co-pilot meliputi *Mandatory Training*, CRM (*Crew Resource Management*), *Avsec* (*Aviation Security*), CET (*Crew Emergency Training*), *Bridging Course*, CBT (*Computer Based Training*), APT (*Aircraft Procedure Training*), dan FFS (simulator). Awak kabin mengikuti pelatihan seperti *wet drill*, *fire drill*, *emergency drill*, CRM, dan SMS. *Wet drill* merupakan pelatihan mendarat darurat di air dan bagaimana cara bertahan hidup di air. *Fire drill* yaitu pelatihan untuk pengklasifikasian api, bagaimana cara pemadamannya, dan alat apa saja yang harus digunakan. *Emergency drill* merupakan cara keluar dari pesawat udara saat keadaan *emergency* dan peralatan apa saja yang harus dibawa pada saat *emergency*.

Selain itu, *Air Traffic Controller* (ATC) juga memiliki peranan penting dalam penerbangan. Tugasnya adalah memandu pesawat udara agar dapat beroperasi dengan aman, lancar, ekonomis, efektif, dan efisien sejak berangkat hingga sampai ke tujuan. ATC harus berkoordinasi dengan baik agar tercipta suatu penerbangan yang aman. Sebelum melakukan penerbangan, pilot harus menyerahkan *flight plan* kepada petugas ATC yang isinya berupa jenis pesawat udara, rute penerbangan, waktu tempuh, berapa bahan bakar yang dibawa, ketinggian dalam penerbangan, dan alternatif pendaratan darurat jika terjadi masalah/*incident*. ATC berperan dalam memberikan informasi/instruksi selama

penerbangan, contohnya ATC dan pilot selalu berkoordinasi perihal cuaca maupun bencana alam yang sedang terjadi, sehingga pilot dapat segera mengambil inisiatif alternatif penerbangan, dan saat *landing*, pihak ATC harus memastikan posisi pesawat udara sudah sesuai untuk melakukan pendaratan dengan selamat. Selain itu, petugas *maintenance* akan melakukan pengecekan pada pesawat udara yang akan diterbangkan yaitu *pre-flight check* dan melaporkan kondisi pesawat udara kepada pilot yang akan menerbangkan pesawat udara.

### 3.3. Software

Hasil wawancara menunjukkan bahwa terdapat banyak Standar Operasional Prosedur (SOP) yang harus dilakukan sebelum penerbangan, di antaranya SOP yang dilakukan oleh pilot and co-pilot ketika pesawat udara lepas landas yaitu dengan melakukan *before take-off checklist* untuk memastikan *flight control* tidak mengalami gangguan, *flight instrument* tidak error, memastikan kesesuaian arah pesawat udara, dan menyamakan persepsi dan visi misi penerbangan agar tidak terjadi *miscommunication*. SOP yang dilakukan awak kabin yaitu memperagakan tata cara penggunaan alat keselamatan keadaan darurat, melakukan *safety induction*, serta mengingatkan dan menegur penumpang apabila ada yang tidak mematuhi SOP penerbangan, seperti mengaktifkan telepon genggam saat sebelum lepas landas dan saat pesawat udara sudah mengudara. Bahkan sebelum melakukan penerbangan terdapat SOP untuk pemeliharaan pesawat udara dan mesin pesawat udara seperti *schedule maintenance* dan *unscheduled maintenance*.

### 3.4. Hardware

Hasil wawancara pada salah satu maskapai penerbangan di Indonesia menunjukkan bahwa jenis pesawat udara yang digunakan adalah Boeing 737-800, Bombardir seri 100 NG, ATR 72-600, Airbus A320, dan CRJ-1000. Pesawat udara tersebut menggunakan jenis mesin yang berbeda-beda. Pesawat udara Boeing 737-800 merupakan salah satu jenis pesawat udara yang banyak digunakan di Indonesia. Pesawat udara ini memakai mesin CFM 56-7B dengan jenis *turbofan high bypass ratio* yang merupakan mesin terbaru dengan kelebihan irit bahan bakar dan mampu menghasilkan tenaga yang besar dari *fan* tersebut. Pesawat udara ini memiliki kapasitas penumpang sebanyak 162 hingga 189 orang dengan maksimum bahan bakar sebesar 20.500 kg dengan jarak tempuh 5.650 km. Selain itu, terdapat pula pesawat udara Bombardir seri 100 NG yang merupakan pesawat udara *medium range* untuk penerbangan domestik atau lokal dengan jarak tempuh 1800 NM. Semetara itu, pesawat udara ATR 72-600 menggunakan mesin PW 127M dan hanya mampu terbang selama 3 jam. Terakhir, pesawat

udara Airbus A320 menggunakan mesin A320 CFM 56-5B dan pesawat udara CRJ-1000 menggunakan mesin CFM 34-8C.

Berdasarkan hasil wawancara, pesawat udara yang ada di Indonesia selalu dilakukan pemeliharaan seperti *preventif maintenance*, *visual check*, *schedule maintenance*, *A-check*, *B-check*, *C-check*, dan *pre-flight checklist*. *Preventive maintenance* merupakan pengecekan secara visual pada pesawat udara. *Schedule Maintenance* terbagi menjadi tiga bagian yaitu *A-Check*, *B-Check*, dan *C-Check*. *A-Check* dilakukan setelah 750 jam terbang, *C-Check* dilakukan setelah 1500 jam terbang, sementara *B-Check* dilakukan bila ada modifikasi pada pesawat udara sesuai dengan arahan dari FAA, yang kemudian diadopsi oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. *Pre-flight* merupakan pengecekan sebelum pesawat udara diterbangkan untuk memastikan keadaan pesawat udara benar-benar layak untuk dioperasikan. *Un-schedule maintenance* dilakukan jika ada *report* atau temuan. Tetapi, terdapat beberapa pengecekan yang ditiadakan oleh maskapai penerbangan ini, yaitu *daily check* dan *Run Over Night* (RON). Hal tersebut dilakukan karena bagian-bagian mesin yang didatangkan berkualitas tinggi, dan pengecekan sebelum pesawat udara diterbangkan dianggap telah cukup untuk proses pengecekan. Pemeliharaan rutin sesuai peraturan dilakukan untuk memeriksa apakah terdapat kebocoran, keretakan, atau kerusakan pada pesawat udara. *Delay* atau penundaan keberangkatan merupakan salah satu dampak dari upaya pengecekan pesawat udara sebelum lepas landas. *Delay* biasanya terjadi karena ada kesalahan pada mesin dan kontrol bahan bakar dan harus segera ditangani. Meskipun penumpang terkadang merasa dirugikan, namun upaya ini harus tetap dilakukan demi keselamatan penerbangan.

### 3.5. Environment

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kejadian yang sering terjadi ialah terjadinya *turbulence*, di mana pesawat udara menabrak awan yang mengakibatkan guncangan yang cukup kuat. Berdasarkan hasil wawancara, faktor lingkungan dan cuaca memiliki dampak terhadap suatu penerbangan. Cuaca buruk menyebabkan pesawat udara tidak mampu melakukan *take-off* akibat kehilangan gaya angkat, mesin mati tiba-tiba akibat perubahan angin

**Tabel 1.** Seri Pesawat Udara Boeing

Seri Boeing	Jenis Mesin	Jumlah Penumpang
Boeing 737-300	CFM56-3B-1	128-149
Boeing 737-400	CFM56-3B-2	146-168
Boeing 737-500	CFM56-3B-1	108-132
Boeing 737-600	CFM56-7B	110-132
Boeing 737-700	CFM56-7B	126-149
Boeing 737-800	CFM56-7B	162-189
Boeing 737-900	CFM56-7B	177-189

Sumber: Hasil analisis, 2020.

yang menyebabkan pesawat udara tidak mendapat pasokan udara, dan jarak pandang yang terganggu akibat kabut. Berbagai jenis awan juga mempengaruhi jalannya penerbangan yang dapat menyebabkan *high turbulence*. Faktor lingkungan sering menjadi penyebab terjadinya kecelakaan. Jadi, meskipun pesawat udara telah dirancang memiliki mesin yang tahan di segala kondisi cuaca, upaya preventif harus tetap dilakukan dengan memperhatikan kondisi lingkungan sebelum pesawat udara lepas landas.

### 3.6. *Liveware to Software*

Menjalankan prosedur dalam dunia penerbangan adalah sebuah keharusan agar tercapai penerbangan yang aman dan nyaman. Di Indonesia, *flight crew* wajib menjalankan tugas sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2015 tentang Standar Keselamatan Penerbangan [24]. Prosedur yang harus dilaksanakan antara lain melakukan *before take-off* untuk memastikan *flight control* tidak mengalami gangguan, *flight instrument* tidak mengalami *error*, serta arah pesawat udara sudah sesuai. Kemudian, pilot and co-pilot menyamakan persepsi, visi, dan tujuan sebelum lepas landas. Awak kabin melakukan tugasnya dengan melakukan *safety induction* dengan memperagakan tata cara penggunaan alat keselamatan dalam keadaan darurat.

Ada beberapa hak dan kewajiban yang dimiliki oleh penumpang selama mengikuti penerbangan. Salah satu dari kewajiban seorang penumpang yaitu mematuhi seluruh aturan penerbangan. Hasil penelitian menyatakan masih sering ditemukan penumpang yang tidak mematuhi kewajibannya selama penerbangan, seperti tidak mematikan telepon genggam dan membuat keributan ketika penerbangan. *Cabin crew* telah memberi himbuan kepada setiap penumpang untuk mematikan telepon genggam dalam demo keselamatan saat penerbangan. Awak kabin kemudian menyampaikan permintaan untuk menonaktifkan telepon genggam dan alat elektronik lain sebelum pesawat udara *take off* (lepas landas). Sebuah penelitian menemukan bahwa perangkat elektronik portabel, seperti *cellphone*, mesin *game* hingga laptop dengan *wi-fi cards*, dapat mengganggu pengoperasian normal pada *key cockpit instruments*, khususnya penerimaan *Global Positioning System* (GPS), yang semakin vital untuk pendaratan yang aman [25]. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan Pasal 54 juga menyebutkan bahwa setiap orang yang berada di dalam pesawat udara dilarang melakukan perbuatan yang dapat membahayakan keamanan dan keselamatan penerbangan [26]. Penumpang tidak diperbolehkan melanggar tata tertib dalam penerbangan, dan mengambil atau merusak

peralatan pesawat udara yang dapat membahayakan keselamatan.

### 3.7. *Liveware to Hardware*

Jenis mesin pada setiap pesawat udara bermacam-macam disesuaikan dengan jumlah penumpang. Airbus dan Boeing merupakan dua industri produksi pesawat udara yang paling mendominasi kebutuhan pesawat udara di dunia, khususnya di Indonesia. Pesawat udara terbagi menjadi dua kategori yaitu pesawat udara berbadan lebar (*wide body aircraft*) yang memiliki lorong ganda (*double aisle*) dengan jangkauan jarak hingga 14.000 km untuk jumlah penumpang 200 hingga 450 orang dan pesawat udara berbadan sempit (*narrow body aircraft*) yang memiliki lorong tunggal (*single aisle*) dengan jangkauan jarak sampai dengan 6000 km untuk jumlah penumpang 100 hingga 200 orang [27].

Salah satu maskapai di Indonesia menggunakan pesawat udara jenis Boeing 737-800 NG dengan mesin *Commercial Fan Motor* (CFM) 56-5B. Pesawat udara jenis ini merupakan produk dari CFM Internasional yang menggunakan mesin jenis terbaru dengan bahan bakar yang terbilang lebih kecil namun mampu menghasilkan tenaga yang besar dari kipas (*turbofan high bypass ratio*). Pembakaran bahan bakar hanya menghasilkan 20% tenaga dan 80% tenaga dihasilkan oleh kipas dari pesawat udara. Pesawat udara ini mampu membawa penumpang sebanyak 162 hingga 189 orang untuk jarak tempuh 5.650 km atau sama dengan 3.150 mil dengan maksimum bahan bakar sebesar 20.500 kg. Jenis mesin pesawat udara yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin turbofan. Mesin turbofan memiliki efisiensi bahan bakar yang baik karena dapat menghasilkan gaya dorong yang lebih besar, dengan jumlah bahan bakar yang sama dengan jumlah bahan bakar yang dibakar di pembakar (*core engine*), sehingga mesin turbofan cocok digunakan untuk pesawat udara berkecepatan tinggi [28].

Menurut model "*Shell*", faktor manusia bukan satu-satunya penyebab kecelakaan pesawat udara. Tetapi, ada faktor lain yang mempengaruhi seperti faktor mesin dan kualitas perawatannya (*maintenance*). Beberapa penerbangan menggunakan sistem *Low-Cost Carrier* yaitu dengan menggunakan biaya seminimal mungkin untuk perawatan mesin. Sebagai contoh, penerbangan masih menggunakan mesin yang lama dengan alasan masih layak pakai padahal mesin dan pesawat udara tersebut sudah ditentukan batas waktu penggunaannya. Hal ini dilakukan untuk mengurangi biaya perawatan sehingga berdampak pada kualitas pesawat udara tersebut [29]. Kualitas pesawat udara yang menurun menyebabkan kegagalan fungsi pada sistem pesawat udara sehingga risiko kecelakaan lebih besar apabila tetap dipaksa untuk melakukan

penerbangan [30]. Oleh karena itu, diperlukan tindakan preventif untuk mencegah terjadinya kecelakaan.

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa tindakan preventif yang telah dilakukan. Salah satunya adalah aturan mengenai personil yang menangani pesawat udara wajib memiliki lisensi terkait bidangnya masing-masing. Teknisi di salah satu maskapai dalam penelitian ini telah memiliki lisensi sesuai dengan *type rating*, seperti *Electric Avionic* dan *Airframe Power Plane*. Sesuai dengan Peraturan Menteri tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (*Civil Aviation Safety Regulation Part 139*) yang mengatakan bahwa penyelenggara bandar udara dan penyedia jasa wajib mempekerjakan personel bandar udara yang memiliki kemampuan dan kualifikasi yang sesuai dengan bidangnya, wajib memiliki sertifikat kompetensi yang diterbitkan oleh lembaga training yang telah mendapatkan akreditasi dari Direktorat Jenderal Perhubungan Udara dan lisensi yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara [31].

### 3.8. *Liveware to Liveware*

Pilot/*Captain* adalah orang yang memegang peranan penting dalam keselamatan penumpang ketika menerbangkan pesawat udara sehingga dalam hal ini mereka dianggap sebagai pusat di dalam *the Shell Model*. ICAO menjelaskan bahwa pusat *the shell model* adalah komponen paling kritis dan fleksibel di dalam sistem, namun, memiliki perbedaan yang cukup besar dalam *performance* dan keterbatasannya, yang sebagian besar dapat diprediksi secara umum [32]. Semua komponen lain harus disesuaikan agar 'fit' dengan *liveware* [33].

Kecelakaan sering kali disebabkan karena *human error*, seperti yang dikemukakan oleh Heinrich bahwa 80% penyebab terjadinya kecelakaan adalah *unsafe act*. Selain itu, Boeing juga menyatakan bahwa faktor manusia atau *human error* menyumbang lebih dari 70% penyebab kecelakaan pesawat udara [34]. Namun, teori Frank Bird menyatakan bahwa kecelakaan tidak hanya terjadi sebagai akibat dari *human error*, melainkan adanya faktor-faktor yang berkontribusi dalam terjadinya kecelakaan, seperti faktor kerja yang melibatkan prosedur, peralatan kerja, dan lingkungan kerja, serta faktor personal yang menjadi dasar mengapa manusia melakukan kesalahan, dan diketahui juga dari semua faktor yang ada, akar permasalahannya terdapat pada manajemen [35]. Hal ini sejalan dengan *the shell model* yang menyatakan bahwa faktor manusia bukanlah satu-satunya penyebab terjadinya kecelakaan, melainkan ada hubungan antara faktor-faktor lainnya seperti prosedur, mesin, dan lingkungan. Penjelasan di atas menunjukkan bahwa kesalahan pilot bukanlah satu-satunya faktor

penyebab kecelakaan, meskipun dari beberapa hasil investigasi menunjukkan bahwa pilot menjadi penyebab dominan kecelakaan.

Kecelakaan pesawat udara bisa saja terjadi karena pilot merasa kelelahan (*fatigue*), disorientasi terhadap posisi pesawat udara, penurunan kewaspadaan karena keadaan (*situational awareness*), dan terdapat kesalahan komunikasi dan koordinasi, meskipun pilot tersebut berpengalaman [36]. Penelitian Li dkk. menyatakan bahwa terdapat korelasi antara pengalaman pilot dan risiko *crash* terhadap kecelakaan pesawat udara. Ditemukan bahwa pilot dengan jam penerbangan antara 5.000 dan 9.999 memiliki risiko keterlibatan 57% lebih rendah untuk terjadinya kecelakaan. Namun, tidak ada bukti lebih lanjut atau signifikan secara statistik yang menunjukkan bahwa penambahan total waktu penerbangan dapat mengurangi risiko kecelakaan [37]. Sedangkan berdasarkan penelitian Low dkk., pengalaman pilot merupakan faktor yang signifikan untuk terjadinya kecelakaan pesawat udara, dibuktikan dengan adanya perbedaan gaji rata-rata pilot yang berpengalaman lebih tinggi dan temuan bahwa pilot yang terampil akan bisa mendaratkan pesawat udara dengan aman meskipun dalam kondisi cuaca ekstrim, sabotase, ataupun kerusakan mekanis seperti contoh pada kecelakaan pesawat udara US Airways [38].

Selain pengalaman pilot dan co-pilot dalam menerbangkan pesawat udara, *skill* personel juga dibutuhkan, tidak hanya *skill* pilot dan *first officer*, tetapi juga *crew cabin*. Peningkatan *skill* yang berkaitan dengan penerbangan dapat dilakukan melalui pelatihan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua personel, pilot, co-pilot, dan *cabin crew*, telah mendapatkan pelatihan-pelatihan, seperti pelatihan untuk pilot dan co-pilot meliputi *Mandatory Training*, CRM (*Crew Resource Management*), Avsec (*Aviation Security*), CET (*Crew Emergency Training*), *Bridging Course*, CBT (*Computer Based Training*), APT (*Aircraft Procedure Training*), dan FFS (simulator). Sementara itu, awak kabin mendapatkan pelatihan seperti *wet drill*, *fire drill*, *emergency drill*, CRM, SMS, dan *mandatory* sampai mendapatkan sertifikat untuk dapat mengikuti penerbangan. Tim teknisi juga mengikuti pelatihan untuk mendapatkan lisensi, dengan dua jenis lisensi yaitu *Airframe Power Plane*: A1 dan A4 serta *Electric Avionic*: C1, C2, C4. Pelatihan ini berguna untuk meningkatkan *skill* personel sesuai dengan posisinya masing-masing. Selain itu, diketahui juga bahwa semua personel yang terlibat dalam penerbangan, *flight crews*, ATC, *maintenance engineers*, dan personel operasional lainnya, selalu berkoordinasi dengan baik seperti pilot dan co-pilot sebelum melakukan penerbangan harus memberikan laporan terbang kepada ATC untuk informasi rute penerbangan, jenis pesawat udara, waktu tempuh,

sampai jumlah bahan bakar yang dibawa dalam penerbangan tersebut. Selama penerbangan, awak pesawat udara berkoordinasi kepada pihak ATC tentang kondisi dalam penerbangan tersebut. Selain itu, awak kabin memastikan penumpang mematuhi SOP untuk tidak menggunakan telepon genggam selama penerbangan, untuk menghindari sinyal menghalangi komunikasi antara pilot dan co-pilot dengan pihak ATC [38].

Penelitian Sentot menyatakan alasan penyebab terjadinya kecelakaan pesawat udara antara lain adalah kesalahan pilot, kegagalan teknik, cuaca, sabotase, dan kesalahan manusia. Kesalahan manusia dikaitkan dengan kesalahan yang disebabkan oleh pengendali lalu lintas udara [39]. Hal ini sejalan dengan penelitian Fikamo yang mengatakan bahwa ATC merupakan pemandu lalu lintas udara yang menjadi rekan terdekat dari penerbang. Operator ATC harus mempunyai kecepatan dan ketepatan untuk mengolah informasi yang diperoleh dalam membuat keputusan yang tepat agar tidak terjadi kecelakaan. Kerap kali kesalahan komunikasi antara pilot dan ATC menjadi penyebab kecelakaan pesawat udara. Kesalahan sering disebabkan karena rotasi *shift* kerja yang tidak tepat yang mengakibatkan ATC bekerja lebih keras dan menyebabkan kelelahan sehingga dapat menurunkan konsentrasi [40].

Selain itu, kecelakaan pesawat udara tidak terjadi hanya karena faktor manusia saja, tetapi juga karena adanya faktor lain yang ikut berkontribusi sehingga tingkat risiko terjadinya kecelakaan semakin besar. Seperti yang diungkapkan oleh Huang dalam penelitiannya bahwa kecelakaan pesawat udara tidak terjadi karena satu faktor saja. Huang menemukan bahwa kecelakaan pesawat udara terjadi karena kombinasi dari faktor manusia, di mana pilot tidak cukup berpengalaman dalam menerbangkan pesawat udara dan tidak memiliki sertifikasi, dan faktor mesin, di mana terjadi kerusakan pada mesin pesawat udara [41]. Oleh karena itu, pencegahan harus difokuskan pada pelatihan dan pendidikan awak pesawat udara, perawatan peralatan penerbangan, dukungan teknis untuk lalu lintas udara, masalah organisasi, dan kontrol serta pengawasan [13]. Selain itu, beberapa faktor lain turut berpengaruh dalam kecelakaan seperti penumpang yang tidak patuh terhadap prosedur keselamatan penerbangan. Tindakan tidak aman yang dilakukan yaitu tidak segera menonaktifkan telepon saat *take-off*, acuh terhadap peraturan dengan mengaktifkan telepon saat pesawat udara sedang *landing*, tidak membaca *aircraft safety manual book*, dan tidak memperhatikan saat awak kabin memberikan demo tentang prosedur keselamatan dan evakuasi [42].

### 3.9. *Liveware to Environment*

Berdasarkan hasil penelitian, faktor lingkungan ini sangat berpengaruh dalam penerbangan karena aktivitas penerbangan sangat bergantung pada cuaca. Di Indonesia, faktor cuaca yang buruk menjadi penyebab hampir 50% kejadian kecelakaan pesawat udara sipil, terutama di daerah pegunungan [43]. Macam-macam gangguan yang terjadi saat penerbangan, misalnya *wind shear* atau arah angin yang tiba-tiba berubah. Cuaca juga merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan kecelakaan dalam penerbangan. Selain itu, cuaca juga menjadi faktor sering terjadinya penundaan penerbangan atau keterlambatan kedatangan pesawat udara. Keadaan yang sering dihadapi oleh personel pesawat udara salah satunya informan dalam penelitian ini ialah *wind shear* dan *high turbulence*. Keadaan yang sering dialami juga ialah *Clear Air Turbulence*. Turbulensi menurut ICAO merupakan perubahan percepatan gravitasi secara cepat dalam kurun waktu tertentu [44]. Keadaan turbulensi tidak membuat pesawat udara sampai jatuh, namun menjadi pemicu serangkaian kejadian yang dapat menyebabkan kecelakaan. Dampak minimal akibat turbulensi antara lain ketidaknyamanan penumpang dan penggunaan bahan bakar yang meningkat. Efek yang ditimbulkan turbulensi berbanding lurus dengan kecepatan pesawat udara. Jika pesawat udara semakin cepat, maka efek turbulensi semakin jelas dirasakan.

Faktor lingkungan berpengaruh terhadap operasi penerbangan yang berhubungan dengan cuaca, suhu, kondisi atmosfer, kondisi geografis dan metrologi, bencana alam, ketinggian, dan lainnya. Salah satu hal penting lainnya yang diperlukan dalam dunia penerbangan adalah informasi meteorologi penerbangan yang tepat, akurat, dan andal terutama tentang kondisi cuaca buruk (*bad weather condition*) seperti turbulensi yang kerap kali mengganggu dunia penerbangan [45]. Kondisi cuaca yang buruk memungkinkan pilot melakukan kesalahan hingga menyebabkan tabrakan dengan medan tertentu atau dengan pesawat udara lain. Dalam kondisi cuaca yang tidak sesuai, sangat sulit bagi pilot untuk mengambil keputusan. Fenomena cuaca dapat meningkatkan keterlambatan penerbangan. Bahaya atmosfer seperti badai petir, kilat, hujan es, angin kencang, curah hujan tinggi dan sebagainya juga menjadi penyebab kecelakaan pesawat udara. Hujan es lebih berbahaya untuk mesin pesawat udara karena sifatnya yang kokoh dengan kadar air yang tinggi sehingga dapat menyebabkan mesin menjadi padam. Selama penerbangan, lapisan es yang berat akan menurunkan daya angkat, menyebabkan kesalahan pada pembacaan instrumen, dan mengganggu kontrol pesawat udara. Selain itu, hujan dapat menyebabkan jarak pandang pilot menjadi bermasalah serta faktor angin atau *wind shear*

menyebabkan penerbangan menjadi hilang kendali. Pilot harus memahami pola aliran udara dan kecuraman gletser, terutama di daerah pegunungan (ketinggian). Bencana alam seperti letusan gunung berapi akan menghasilkan abu. Abu tersebut sangat keras dan ukurannya yang kecil dapat menggores dan merusak bagian tubuh pesawat udara (kokpit, jendela kabin depan, lampu pendaratan, penutup mesin, radar kerucut, dan ekor kemudi) sehingga menimbulkan kerusakan pada pesawat udara. Suhu tinggi dan kelembaban akan mengurangi kinerja pesawat udara. Saat kelembaban tinggi, kandungan air di atmosfer akan semakin banyak sehingga mempengaruhi tenaga mesin pesawat udara yang berujung pada hilangnya performa pesawat udara [46]. Oleh karena itu, untuk terbang dalam kondisi seperti ini, pilot membutuhkan konsentrasi tinggi, pengalaman, dan informasi.

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab kecelakaan terjadi bukan hanya karena satu faktor saja, melainkan keterlibatan dari faktor lainnya yang saling mempengaruhi sehingga terjadi *accident*. Komponen *liveware* tidak hanya ditekankan pada pilot saja, akan tetapi seluruh kru yang terlibat dalam proses penerbangan dan para penumpang. Ketidakpatuhan terhadap standar atau aturan menjadi salah satu faktor penentu dalam keamanan perjalanan udara. Selain itu, miskomunikasi antara pilot/co-pilot dengan ATC juga turut andil dalam kecelakaan. Komponen *Software* berkaitan dengan prosedur, yaitu ketidakpatuhan *flight crew* terhadap prosedur dalam menjalankan tugas masing-masing. Komponen *Hardware* berkaitan dengan mesin pesawat udara, termasuk *maintenance, instruments*, dan *workplace design (cockpit)*. Ketidaksesuaian atau ketidakmampuan manusia dalam mengendalikan peralatan kerja dapat mengakibatkan sebuah kegagalan sistem. Selain itu, keadaan mesin atau peralatan yang tidak baik juga masuk dalam faktor penyebab kecelakaan. Komponen *environment* juga merupakan salah satu faktor penyebab terbesar terjadinya kecelakaan. Dalam penerbangan, pesawat udara seringkali mengalami turbulensi akibat cuaca buruk. Untuk itu, beberapa hal yang dapat dilakukan adalah meningkatkan keterampilan pilot dan co-pilot seperti melatih keterampilan pilot dalam menghadapi kondisi darurat seperti cuaca buruk, memberikan sanksi yang lebih berat untuk penumpang yang tidak patuh terhadap aturan atau standar yang berlaku, sertifikasi personel bandar udara (seperti teknisi pemeliharaan pesawat) yang lebih ketat, dan membuat dokumentasi yang lebih baik pada saat perpindahan *shift* kerja sehingga tidak terjadi miskomunikasi antara pilot dan operator ATC.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diberikan kepada Capt. Nurcahyo Utomo Dip.TSI selaku Ketua Sub Komite Investigasi Kecelakaan Penerbangan, Komite Nasional Keselamatan Transportasi, Indonesia atas data yang telah diberikan untuk artikel ini. Terima kasih juga diberikan kepada Maskapai X atas izinnya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan terima kasih juga kepada seluruh informan dalam penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, 2nd ed., no. January. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB), 2000.
- [2] Prakarsa, "Transportasi Udara," *J. Prakarsa Infrastruktur Indones.*, vol. 9, no. Januari 2012, p. 33, Jan. 2012.
- [3] S. Wahyuni, "Analisis terhadap Pesawat Penumpang Komersil Wings Air yang Mengalami Insiden Pecah Ban Menurut Asas Keamanan dan Keselamatan Konsumen," *J. Krtha Bhayangkara*, vol. 13, no. 1, pp. 164–187, Jun. 2019.
- [4] A. Latipulhayat, "The Function and Purpose of Aircraft Accident Investigation According to The International Air Law," *Mimb. Huk. - Fak. Huk. Univ. Gadjah Mada*, vol. 27, no. 2, p. 312, Oct. 2015, doi: 10.22146/jmh.15890.
- [5] International Civil Aviation Organization (ICAO), *State of Global Aviation Safety - ICAO Safety Report 2019 Edition*. Montreal, Quebec, Canada, 2019. [Online]. Available: [https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO\\_SR\\_2019\\_final\\_web.pdf](https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2019_final_web.pdf)
- [6] A. Hutabarat, *Menjelang Setengah Abad Industri Penerbangan Nasional: INACA Berkiprah*. Indonesia Air Carriers Association, 2019.
- [7] Federal Aviation Administration, *Aviation Maintenance Technician Handbook-General*. Oklahoma: U.S Department of Transportation, 2018. [Online]. Available: [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/amt\\_general\\_handbook.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/amt_general_handbook.pdf)
- [8] W. Pakan, "Faktor Penyebab Kecelakaan Penerbangan Di Landas Pacu," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 26, no. 3, p. 169, Feb. 2019, doi: 10.25104/warlit.v26i3.879.
- [9] A. D. Saputra, S. Priyanto, and I. Muthohar, "Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Pilot Dan Kecelakaan Pesawat Terbang Dengan Pendekatan Partial Least Square (PLS)," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 28, no. 2, pp. 71–91, Apr. 2016, doi: 10.25104/warlit.v28i2.689.
- [10] Y. Li, "Analysis and Forecast of Global Civil Aviation Accidents for the Period 1942-2016," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2019, pp. 1–12, Feb. 2019, doi: 10.1155/2019/5710984.
- [11] Kementerian Perhubungan, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 74 Tahun 2017 Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 830 (Civil Aviation Safety Regulation Part 830) Tentang Prosedur Investigasi Kecelakaan dan Kejadian Serius Pesawat Udara Sipil," Jakarta, 2017.

- [Online]. Available: <https://jdih.dephub.go.id/peraturan/detail?data=IOx7qEt0aQOJwyi7GuXfun8cLHpHb2X9Y4aDnHWTRr6u8RjppCfIR848bPI0joifEC4Toj9GvPZk14p722LkTRL98MPXoqkJZek8LUpFPVbAPR67WZRjtzevyKjEKDVehls7DkUr1H99N1j17xar6Nt1mM>
- [12] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Safety Management Manual (SMM)*, Third edit. Montréal, Quebec, Canada: ICAO, 2013. [Online]. Available: [https://www.icao.int/SAM/Documents/2017-SSP-GUY/Doc 9859 SMM Third edition en.pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/2017-SSP-GUY/Doc%209859%20SMM%20Third%20edition%20en.pdf)
- [13] V. Socha, L. Socha, S. Szabo, and V. Němec, "Air Accidents, Their Investigation And Prevention," *Exclus. e-Journal Econ. Soc. Environ.*, vol. 4, no. 15, pp. 1–10, 2014.
- [14] Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), "Data Investigasi Kecelakaan Penerbangan Tahun 2010 – 2016," Jakarta, 2016. [Online]. Available: [http://knkt.dephub.go.id/knkt/ntsc\\_home/Media\\_Release/Media Release KNKT 2016/Media Release 2016 - IK Penerbangan 20161130.pdf](http://knkt.dephub.go.id/knkt/ntsc_home/Media_Release/Media%20Release%20KNKT%202016/Media%20Release%202016%20-%20IK%20Penerbangan%2020161130.pdf)
- [15] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Aircraft Accident and Incident Investigation," 2016. [Online]. Available: [https://www.emsa.europa.eu/retro/Docs/marine\\_casualties/annex\\_13.pdf](https://www.emsa.europa.eu/retro/Docs/marine_casualties/annex_13.pdf)
- [16] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 62 Tahun 2013 Tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi*. Indonesia, 2013, pp. 1–28. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/5396/pp-no-62-tahun-2013>
- [17] P.-C. Shao, Y.-H. Chang, and H. J. Chen, "Analysis of an aircraft accident model in Taiwan," *J. Air Transp. Manag.*, vol. 27, pp. 34–38, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.jairtraman.2012.11.004.
- [18] M. Moshinsky, "Analysis of Causes and Statistics of Commercial Jet Plane Accidents between 1983 and 2003," *Nucl. Phys.*, vol. 13, no. 1, 1959.
- [19] C. Belcastro and J. Foster, "Aircraft Loss-of-Control Accident Analysis," in *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, Aug. 2010, pp. 1–40. doi: 10.2514/6.2010-8004.
- [20] International Civil Aviation Organization, "Annex 13 - Aircraft Accident and Incident Investigation.," *Conv. Int. Civ. Aviat.*, no. 9, pp. 1–42, 2001.
- [21] A. D. Saputra, "Studi Analisis Penyebab Runway Excursion di Indonesia Berdasarkan Data Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) Tahun 2007-2016," *War. ARDHIA*, vol. 43, no. 2, pp. 93–104, Dec. 2017, doi: 10.25104/wa.v43i2.305.93-104.
- [22] A. Murad, "The Airport Operator's Perspective on Runway Excursion Hazards," Bali, 2012. [Online]. Available: [https://www.icao.int/apac/meetings/2012\\_rrss/s3\\_p2 the airport operator%27s perspective on runway excursion 1-3 \[compatibility mode\].pdf](https://www.icao.int/apac/meetings/2012_rrss/s3_p2_the%20airport%20operator%27s%20perspective%20on%20runway%20excursion%201-3%20compatibility%20mode.pdf)
- [23] International Air Transport Association (IATA), "Runway Excursion Statistics," 2014. [Online]. Available: [https://www.icao.int/MID/Documents/2014/MID-RRSS-2/S3 P1 Runway Excursion Statistics.pdf](https://www.icao.int/MID/Documents/2014/MID-RRSS-2/S3%20P1%20Runway%20Excursion%20Statistics.pdf)
- [24] Kementerian Perhubungan, "Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 21 Tahun 2015 tentang Standar Keselamatan Penerbangan," Jakarta, 2015. [Online]. Available: <https://jdih.dephub.go.id/peraturan/detail?data=LYPcA14Y5yf3kAwwTX2uWR4ExCUhUvKK24Jgy4VLdaQ8RjpGQ96ZDH4TnPL5MPMgb4UvOowB7VnY48d17PL7cXO8cNc4FEZJbF4OceJOYXdnG96nqKkTwRPLFSiDsrVhVPM6VRB2rHhbPO4WVVKvCDGsXA>
- [25] B. Strauss, "Unsafe at Any Airspeed? Cellphones and Other Electronics are More of a Risk Than You Think," *IEEE Spectrum*, 2006. <https://spectrum.ieee.org/unsafe-at-any-air-speed>
- [26] Pemerintah Republik Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*. Jakarta, Indonesia, 2009. [Online]. Available: [https://www.dpr.go.id/dokjdih/document/uu/UU\\_2009\\_1.pdf](https://www.dpr.go.id/dokjdih/document/uu/UU_2009_1.pdf)
- [27] M. Mora, "Persaingan Airbus dan Boeing di Industri Jasa Angkutan Udara Indonesia," *War. ARDHIA*, vol. 39, no. 4, pp. 244–258, Dec. 2013, doi: 10.25104/wa.v39i4.123.244-258.
- [28] S. Mulyani, "Analisis Performa Engine Turbofan Pesawat Boeing 737-300," Yogyakarta, 2012. [Online]. Available: [http://stta.name/data\\_lp3m/ANALISIS PERFORMA ENGINE TURBOFAN PESAWAT BOEING 737-300.pdf](http://stta.name/data_lp3m/ANALISIS%20PERFORMA%20ENGINE%20TURBOFAN%20PESAWAT%20BOEING%20737-300.pdf)
- [29] Suprpti, "Pertanggungjawaban Pidana Kapten Penerbang (Pilot) dalam Kecelakaan Pesawat Terbang (Studi Kasus: Peristiwa Kecelakaan Pesawat Garuda Indonesia Boeing 737-400)," *J. Manaj. Dirgant.*, vol. 8, pp. 90–101, Dec. 2015, [Online]. Available: <https://www.jurnal.sttkd.ac.id/index.php/jmd/article/view/112>
- [30] A. D. Saputra, S. Priyanto, I. Muthohar, and M. Bhinnety, "Studi Tingkat Kecelakaan Pesawat Terbang Di Indonesia Dari Tahun 1988-2012," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 27, no. 4, pp. 263–276, 2015, doi: 10.25104/warlit.v27i4.790.
- [31] Kementerian Perhubungan, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 83 Tahun 2017 Tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Civil Aviation Safety Regulation Part 139) Tentang Bandar Udara (Aerodrome)," Jakarta, 2017. [Online]. Available: <https://jdih.dephub.go.id/peraturan/detail?data=EbmIhiiZlyW0NDQ9CX55Zy8ge9C39k5ag4Oodio9wh1Mt4eWrOw2Pve88X11JmgDjT648ZCUIAHAN4fXmsGPVCbb4UoZoEwv6Gc8W4zsp883DXKMOhPRMD4ar3HJNMpqqDqyLMSV8UErVy56wfZ4iWnNVi>
- [32] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual*. ICAO, 2003. [Online]. Available: [https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance\\_hf/library/documents/media/support\\_documentation/icao\\_hf\\_guidelines\\_2003.pdf](https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/support_documentation/icao_hf_guidelines_2003.pdf)
- [33] I. M. Dumitru and M. Boscoiau, "Human Factors Contribution to Aviation Safety," 2015.
- [34] C. Graeber, "The Role of Human Factors in Improving Aviation Safety," *Aero*, 1999, [Online]. Available: [https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_08/human\\_textonly.html#:~:text=In aviation%2C human factors is, to help humans perform better](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_textonly.html#:~:text=In%20aviation%20human%20factors%20is%20to%20help%20humans%20perform%20better)
- [35] G. Fu, X. Xie, Q. Jia, Z. Li, P. Chen, and Y. Ge, "The Development History Of Accident Causation Models

- In The Past 100 Years: 24model, A More Modern Accident Causation Model," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 134, pp. 47–82, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.psep.2019.11.027.
- [36] D. Kelly and M. Efthymiou, "An Analysis Of Human Factors In Fifty Controlled Flight Into Terrain Aviation Accidents From 2007 To 2017," *J. Safety Res.*, vol. 69, pp. 155–165, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.jsr.2019.03.009.
- [37] G. Li, S. P. Baker, J. G. Grabowski, Y. Qiang, M. L. McCarthy, and G. W. Rebok, "Age, Flight Experience, and Risk of Crash Involvement in a Cohort of Professional Pilots," *Am. J. Epidemiol.*, vol. 157, no. 10, pp. 874–880, May 2003, doi: 10.1093/aje/kwg071.
- [38] J. M. W. Low and K. K. Yang, "An exploratory study on the effects of human, technical and operating factors on aviation safety," *J. Transp. Saf. Secur.*, vol. 11, no. 6, pp. 595–628, Nov. 2019, doi: 10.1080/19439962.2018.1458051.
- [39] S. Subandono, "Analisis Risiko Kecelakaan pada Kegiatan Pelayanan Sisi Udara Pesawat Udara di Bandara Soekarno-Hatta," Universitas Indonesia, Depok, 2012. [Online]. Available: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20313859&lokasi=lokal>
- [40] D. A. Fikarno, "Faktor-faktor Penyebab Rendahnya Keselamatan Penerbangan di Indonesia," Universitas Indonesia, 2009. [Online]. Available: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=126244&lokasi=lokal>
- [41] C. Huang, "Analysis of Part 135 Aircraft Accidents to Facilitate Flight Data Monitoring," *Int. J. Aviat. Aeronaut. Aerosp.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–21, 2020, doi: 10.15394/ijaaa.2020.1450.
- [42] M. Lestari *et al.*, "Persepsi Risiko Penumpang Pesawat Terbang," *J. Kesehat.*, vol. 11, no. 2, pp. 55–60, Dec. 2018, doi: 10.23917/jk.v0i1.7560.
- [43] A. Pramono, J. H. Middleton, and C. Caponecchia, "Civil Aviation Occurrences in Indonesia," *J. Adv. Transp.*, vol. 2020, pp. 1–17, May 2020, doi: 10.1155/2020/3240764.
- [44] Z. Abdln and E. Hermawan, "Estimasi Parameter Turbulensi Untuk Penerbangan Berbasis Hasil Analisis Beberapa Data Radiosonde Di Kawasan Barat Indonesia," *J. Sains Dirgant.*, vol. 3, no. 2, pp. 155–165, Jun. 2006.
- [45] A. Yulianto, "Meningkatkan Kualitas Pelayanan Jasa Penerbangan Indonesia Paska Insiden Kecelakaan Pesawat Terbang?," *J. Din. Manaj.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2010.
- [46] M. Kushwaha and S. K. Sharma, "Impact of Environmental Factors on Aviation Safety," *Adv. Aerosp. Sci. Appl.*, vol. 4, no. 1, pp. 73–78, 2014.