

PROBABILITAS JATUHNYA PESAWAT UDARA PADA AREA TAPAK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR SKALA KOMERSIAL DI KALIMANTAN BARAT

Slamet Widodo
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Tanjungpura
Jln. Prof. Hadari Nawawi
Pontianak, 78124
slametwidodo@civil.untan.ac.id

Siti Mayuni
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Tanjungpura
Jln. Prof. Hadari Nawawi
Pontianak, 78124
sitimayuni@civil.untan.ac.id

Arbi Widyantoro
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Tanjungpura
Jln. Prof. Hadari Nawawi
Pontianak, 78124
arbiwidyantoro.aw@gmail.com

Abstract

One part of the feasibility study of the planned development of a commercial-scale Nuclear Power Plant in West Kalimantan is to conduct a study of the airport development plan in Singkawang City against the planned nuclear power plant site. The planned location of the airport in Singkawang City is within a 25 km radius from the planned location of the Nuclear Power Plant site. It is necessary to conduct research on the potential and probability of an aircraft falling around the Nuclear Power Plant site area, so that it can be identified and considered the distance of the airport to the Nuclear Power Plant. The data collected and used for this research is the existence of surrounding airports and aircraft flight paths that are directly or indirectly related to Singkawang Airport. From the calculations carried out, the probability of an airplane crash at the planned location of the Nuclear Power Plant in West Kalimantan Province is 4×10^{-12} events per year. This probability value is much smaller than the probability of a similar event in the world. This study shows that the location of the Nuclear Power Plant in West Kalimantan Province is safe from the potential for an aircraft crash to occur in the Nuclear Power Plant site area.

Keywords: nuclear power plant; airport location; aircraft; flight path

Abstrak

Salah satu bagian studi kelayakan rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir skala komersial di Kalimantan Barat adalah melakukan kajian tentang rencana pembangunan bandara di Kota Singkawang terhadap rencana tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Lokasi rencana bandara di Kota Singkawang tersebut masuk dalam radius 25 km dari rencana lokasi tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Karena itu perlu dilakukan penelitian tentang potensi dan probabilitas jatuhnya pesawat udara di sekitar area tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, sehingga dapat diidentifikasi dan dipertimbangkan jarak keberadaan bandara tersebut ke Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Data yang dikumpulkan dan digunakan untuk penelitian ini adalah keberadaan bandara-bandara sekitar dan jalur penerbangan pesawat udara yang berhubungan secara langsung maupun tidak langsung dengan Bandara Singkawang. Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh probabilitas terjadinya kecelakaan jatuhnya pesawat udara di lokasi rencana tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir yang terdapat di Provinsi Kalimantan Barat adalah 4×10^{-12} kejadian per tahun. Nilai probabilitas ini jauh lebih kecil daripada probabilitas kejadian yang serupa di dunia. Studi ini menunjukkan bahwa lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Provinsi Kalimantan Barat aman dari potensi terjadinya kecelakaan jatuhnya pesawat udara di area tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir.

Kata-kata kunci: pembangkit listrik tenaga nuklir; lokasi bandara; pesawat udara; jalur penerbangan

PENDAHULUAN

Evaluasi Tapak adalah kegiatan analisis atas setiap sumber kejadian di tapak dan wilayah sekitarnya yang dapat berpengaruh terhadap keselamatan instalasi nuklir (BAPE-

TEN Republik Indonesia, 2018). Dalam rangka memastikan keselamatan pembangunan dan pengoperasian pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), pada tahap evaluasi tapak harus dipertimbangkan pengaruh kejadian eksternal dari luar tapak terhadap keselamatan PLTN tersebut, baik kejadian alam maupun kejadian akibat ulah manusia. Kejadian eksternal adalah kejadian yang tidak berkaitan dengan operasi instalasi nuklir atau kegiatan yang dapat memengaruhi keselamatan instalasi nuklir. Salah satu kejadian akibat ulah manusia yang harus dievaluasi adalah potensi jatuhnya pesawat udara di sekitar tapak (BAPETEN Republik Indonesia, 2008).

Menurut IAEA (2002) dan BAPETEN Republik Indonesia (2018), potensi sumber kejadian eksternal akibat ulah manusia terhadap instalasi harus diidentifikasi, dan beberapa kemungkinan yang menghasilkan fenomena bahaya harus dievaluasi untuk memperoleh desain basis instalasi. Potensi bahaya utama yang dapat ditimbulkan oleh jatuhnya pesawat udara adalah berupa beban tumbukan (*impact load*) yang disebabkan oleh tumbukan pesawat udara pada struktur dan komponen, dan efek termal dan tekanan berlebih yang disebabkan oleh terbakarnya bahan bakar pesawat udara tersebut, yang dapat menyebabkan terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan (Syam, 2011).

Sehubungan dengan hal tersebut, dalam rangka Studi Kelayakan Prototipe PLTN Skala Komersial di Kalimantan Barat, serta terkait rencana pembangunan bandara di Kota Singkawang, yang lokasinya masuk dalam radius 25 km dari rencana lokasi tapak PLTN, perlu dilakukan penelitian tentang potensi dan probabilitas jatuhnya pesawat udara di sekitar area tapak. Dengan menggunakan hasil studi ini, dapat diidentifikasi dan dipertimbangkan jarak aman suatu bandar udara ke PLTN.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan kajian keselamatan terhadap potensi jatuhnya pesawat udara, perlu dilakukan tahap-tahap kegiatan penelitian sebagai berikut:

- 1) Pengumpulan data sekunder, yang meliputi karakteristik bandara, jenis pesawat udara, lebar jalur penerbangan, data jumlah pergerakan pesawat udara per tahun, serta data primer, yang meliputi pengukuran jarak bandara-tapak dan titik koordinat bandara.
- 2) Identifikasi sumber potensi bahaya bandara hingga radius 25 km dari tapak.
- 3) Pemetaan sebaran bandara di sekitar tapak dan penapisan awal menggunakan nilai Screening Distance Value (SDV) dan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP).

Perhitungan nilai probabilitas jatuhnya pesawat udara di area tapak yang didapatkan dalam satuan “kejadian/tahun” merupakan luaran yang penelitian ini. Penentuan nilai probabilitas terjadinya kecelakaan pesawat udara yang jatuh atau menabrak lokasi PLTN menurut US NRC (2004) adalah sebagai berikut:

$$P_{FA} = C \cdot N \cdot A/W \quad (1)$$

dengan:

- P_{FA} = Probabilitas jatuhnya pesawat udara;
- C = Laju kecelakaan penerbangan per mil persegi untuk pesawat udara yang menggunakan jalur penerbangan;
- N = Jumlah pergerakan pesawat udara per tahun di sepanjang jalur penerbangan;
- A = Area tapak efektif (mil persegi); dan
- W = Lebar jalur penerbangan (ditambah 2 kali jarak tepi jalur/koridor penerbangan ke tapak, bila tapak berada di luar jalur penerbangan), dalam mil.

Pada pesawat udara komersial, nilai C sebesar $4 \cdot 10^{-10}$ setiap pesawat udara per mil persegi diterapkan. Sementara pada jumlah penerbangan yang padat, yang melebihi 100 penerbangan per hari, nilai tersebut perlu dikoreksi dan dianalisis lebih detail. Apabila berbagai jenis tipe pesawat udara, baik kegiatan militer ataupun kegiatan sipil, yang menggunakan suatu bandara, dapat pula digunakan rumus pendekatan sebagai berikut:

$$P_A = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M C_j \cdot N_{ij} \cdot A_j \quad (2)$$

dengan:

- P_A = Probabilitas jatuhnya pesawat udara;
- M = Jumlah pesawat udara yang berbeda yang menggunakan bandara;
- L = Jumlah lintasan penerbangan yang memengaruhi tapak PLTN;
- C_j = Probabilitas per mil persegi suatu kecelakaan setiap movement untuk pesawat ke- j ;
- N_{ij} = Jumlah movement per tahun pesawat ke- j selama penerbangan ke- i ; dan
- A_j = Luas tapak PLTN, satuan mil kuadrat untuk pesawat ke- j .

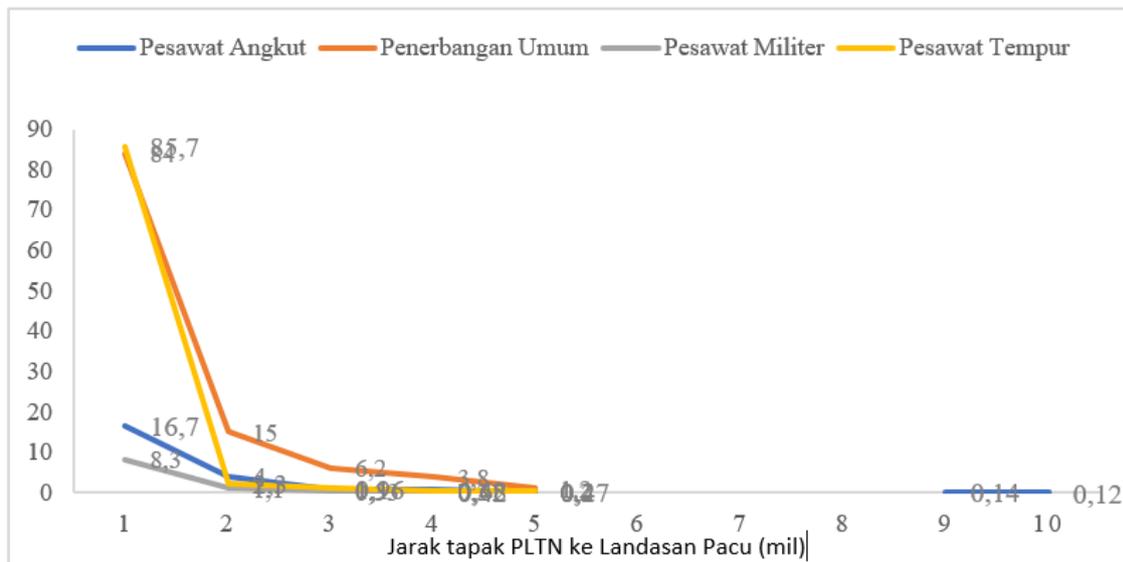
Berikut adalah ringkasan atau perkiraan nilai C_j , yaitu kelajuan probabilitas kecelakaan per mil kuadrat, untuk setiap *movement* pesawat udara yang didapatkan secara empiris di Amerika Serikat (Lee et al., 1993).

Tabel 1 Nilai C_j terhadap Jarak dan Jenis Pesawat Udara

Jarak dari Ujung Landasan Pacu (mil)	Nilai C_j ($\times 10^{-8}$) dari Kecelakaan Per Mil Kuadrat Setiap <i>Movement</i> Pesawat Udara			
	Pesawat Udara	Penerbangan	Pesawat Udara	Pesawat Udara
	Angkut	Umum	Militer	Tempur
0-1	16,7	84	8,3	85,7
1-2	4,0	15	1,1	2,3
2-3	0,96	6,2	0,33	1,1
3-4	0,68	3,8	0,31	0,42
4-5	0,27	1,2	0,20	0,40
5-6	0,00	NA	NA	NA
6-7	0,00	NA	NA	NA
7-8	0,00	NA	NA	NA
8-9	0,14	NA	NA	NA
9-10	0,12	NA	NA	NA

Sumber: US NRC, 2004

Nilai yang ada pada Tabel 1 selanjutnya dapat digambarkan dalam bentuk kurva untuk mengetahui pengaruh jarak lokasi tapak PLTN terhadap ujung landasan pacu untuk menentukan jarak aman suatu tapak PLTN terhadap kecelakaan atau jatuhnya pesawat udara di lokasi tapak PLTN.



Gambar 1 Hubungan Jarak terhadap Nilai Cj

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Volume Lalu Lintas Bandara yang Berdekatan

Berdasarkan laporan akhir “Studi Tinjau Ulang Tatravil Provinsi Kalimantan Barat dalam Mendukung Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia”, terdapat 5 bandara yang melayani rute penerbangan lokal, baik pergerakan penumpang maupun pergerakan barang, yaitu Bandar Udara Supadio (Kabupaten Kubu Raya), Bandar Udara Rahadi Oesman (Kabupaten Ketapang), Bandar Udara Susilo (Kabupaten Sintang), Bandar Udara Pangsuma (Kabupaten Kapuas Hulu), dan Bandar Udara Nanga Pinoh (Kabupaten Melawi). Dalam laporan tersebut disebutkan bahwa salah satu rencana percepatan dan perluasan pembangunan ekonomi Indonesia adalah pembangunan Bandar Udara di Singkawang. Berikut ini beberapa informasi mengenai bandar udara yang akan dibangun di Kota Singkawang.

Tipe Bandar Udara

Bandar Udara yang akan dibangun memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan karakteristiknya, bandar udara yang dibangun bersifat konvensional.
- 2) Berdasarkan pengelolaan dan penggunaannya, bandar udara merupakan bandar udara umum yang dikelola pemerintah untuk penggunaan umum maupun militer.

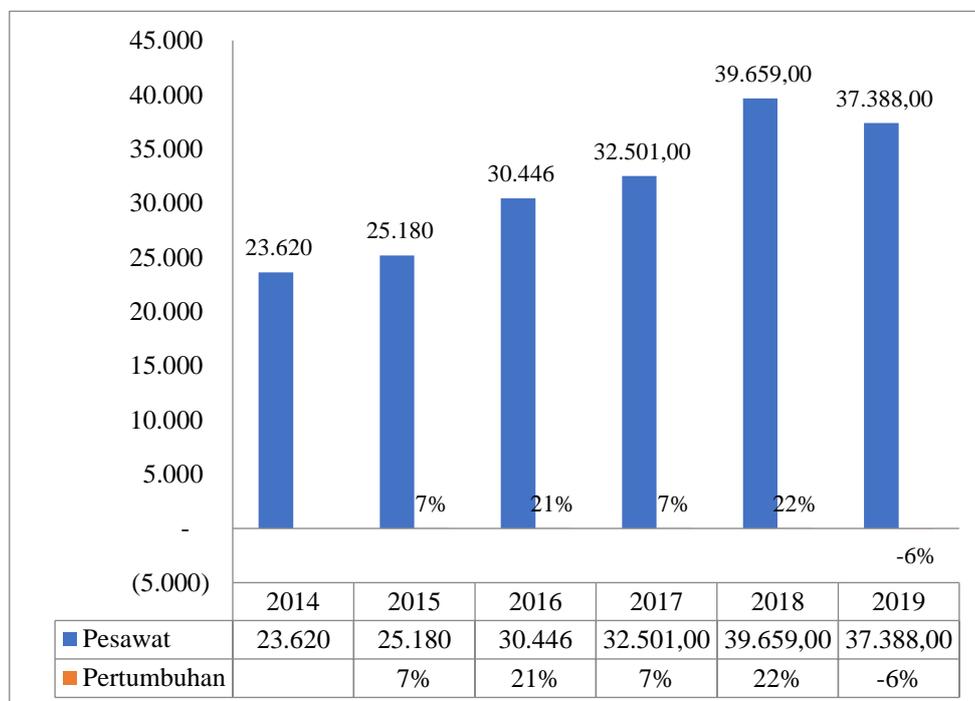
- 3) Berdasarkan aktivitas rutinnnya (jumlah pergerakan pesawat udara), bandar udara merupakan bandar udara pengumpul dengan skala tersier, seperti bandar udara Rahadi Oesman di Ketapang.
- 4) Direncanakan memiliki landasan pacu dengan panjang 2.000 m dan lebar 45 m.
- 5) Melayani perjalanan domestik.
- 6) Jenis pesawat udara berdasarkan skala tersier cukup menggunakan ATR-72.
- 7) Jalur Viktor (ketinggian 1.200 *feet* sampai dengan 18.000 *feet*).

Lalu Lintas Udara

Lalu lintas di sekitar bandar udara ketika pesawat udara akan tinggal landasan (*take off*) ataupun mendarat (*landing*) berdasarkan statistik penerbangan domestik 5 bandar udara di Kalimantan barat per tahun 2021 adalah sebagai berikut:

- 1) Bandar Udara Supadio (Kabupaten Kubu Raya), 33 Jadwal penerbangan/hari.
- 2) Bandar Udara Rahadi Oesman (Kabupaten Ketapang), 8 Jadwal penerbangan/hari.
- 3) Bandar Udara Susilo (Kabupaten Sintang), 2 Jadwal penerbangan/hari.
- 4) Bandar Udara Pangsuma (Kabupaten Kapuas Hulu), 1 Jadwal penerbangan/hari.
- 5) Bandar Udara Nanga Pinoh (Kabupaten Melawi), sementara tidak ada jadwal penerbangan.

Penambahan frekuensi penerbangan kawasan-kawasan utama, seperti Pontianak, Ketapang, dan Sintang juga akan berpengaruh pada jalur penerbangan di sekitar bandar udara di Kota Singkawang.



Gambar 2 *Movement* Pesawat Udara di Bandara Internasional Supadio

Supadio International Airport

Bandara Supadio melayani penerbangan domestik dan penerbangan internasional. Bandara ini terletak di Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Penumpang di Bandara Supadio selama pandemi mengalami penurunan sebagaimana bandara-bandara lain yang ada di Indonesia. Walaupun sejak selesainya pembangunan perluasan terminal pada Bandara Supadio, jumlah penumpang meningkat, namun mulai berkurang drastis ketika pandemi Covid-19 mendera seluruh negeri ini.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada tahun 2018, jumlah *movement* pesawat udara di Bandara Supadio mencapai 39.659, atau 40.000, yang berarti separuhnya adalah jumlah keberangkatan ataupun jumlah kedatangan.

Kuching International Airport

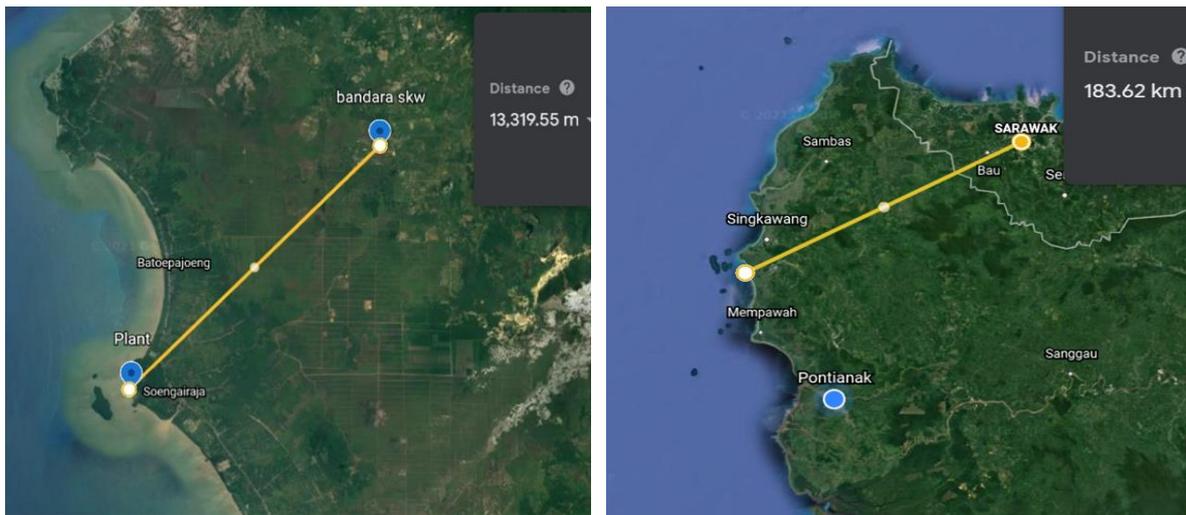
Kuching International Airport terletak di Kota Sarawak, Malaysia. Bandara ini merupakan bandara yang berdekatan dengan Provinsi Kalimantan Barat. Data volume penumpang, barang, dan pergerakan pesawat udara di Bandara Kuching dapat dilihat pada Tabel 2. Terlihat bahwa *movement* pesawat udara paling banyak terjadi pada tahun 2013, yaitu sebesar 56.085 pergerakan atau *movement* (keberangkatan dan kedatangan).

Tabel 2 *Movement* Pesawat Udara di Kuching International Airport

Tahun	Penumpang	Cargo (Ton)	<i>Movement</i> Pesawat
2003	2.923.633	26.278	42.138
2004	3.317.879	26.073	45.340
2005	3.354.973	28.407	43.253
2006	2.196.352	29.716	40.292
2007	3.236.468	23.818	37.348
2008	2.238.614	19.166	39.188
2009	3.574.632	20.830	44.761
2010	3.684.517	26.977	46.382
2011	4.286.722	24.787	53.154
2012	4.186.523	15.811	46.727
2013	4.871.936	21.993	56.085
2014	4.852.822	28.040	53.490

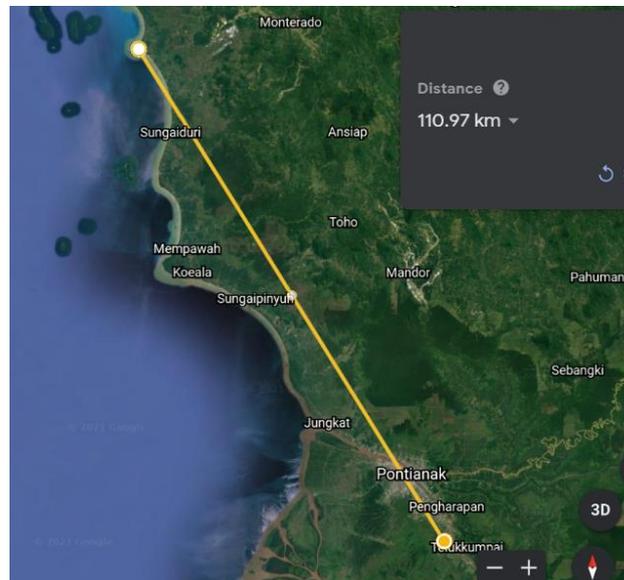
Probabilitas Jatuhnya Pesawat Udara

Koridor atau jalur penerbangan yang berbatasan dengan lokasi studi, yaitu tapak PLTN, perlu diperhatikan dan mendapat perhatian khusus berkaitan dengan faktor keselamatan sebagai akibat ulah manusia (Pemerintah Republik Indonesia, 2009). Besarnya nilai probabilitas per tahun yang terjadi akibat pesawat udara menabrak atau jatuh ke titik lokasi PLTN seharusnya diperhitungkan. Besarnya nilai probabilitas ini bergantung pada sejumlah faktor, seperti ketinggian terbang pesawat udara, volume atau frekuensi penerbangan yang ada, lebar koridor penerbangan, dan data kecelakaan masa lalu yang ada di suatu negara (Sugeng et al., 2016).



(a)

(b)



(c)

Gambar 3 Jarak Bandara ke Tapak PLTN (a) Bandara Singkawang; (b) Kuching International Airport; (c) Supadio International Airport

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, nilai C_j di Amerika Serikat ditentukan sebesar 4×10^{-10} untuk penerbangan komersial. Apabila melihat kecenderungan grafik atau kurva yang ada, nilai ini didapat jika jarak antara tapak PLTN dan landasan pacu melebihi 10 mil atau 16 km, karena nilai C_j sejauh 10 mil tersebut masih sebesar $0,12 \times 10^{-8}$ atau $1,2 \times 10^{-9}$, dan nilai ini masih lebih besar daripada yang ditentukan, yaitu sebesar 4×10^{-10} kejadian per tahun.

Jarak Bandara ke Tapak PLTN

Pada jarak radius kurang dari 200 km, terdapat 3 bandara yang berdekatan dengan rencana tapak PLTN. Bandara tersebut adalah Rencana Bandara Singkawang, Supadio Inter-

national Airport, dan Kuching International Airport. Jarak dari rencana tapak PLTN terhadap 3 bandara tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

Perhitungan Probabilitas Jatuhnya Pesawat Udara

Untuk menghitung probabilitas jatuhnya pesawat udara diperlukan sejumlah data. Data yang diperlukan tersebut digunakan untuk memperkirakan besarnya nilai probabilitas jatuhnya pesawat udara di rencana tapak PLTN, sesuai rumus sebelumnya. Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai probabilitas terjadinya kecelakaan di lokasi rencana tapak PLTN sekitar 4×10^{-12} kejadian per tahun.

Tabel 3 Bandara yang Berdekatan dengan Rencana Tapak PLTN

No.	Nama Bandara	Jenis Bandara	Nilai SDV (km)	Jarak ke Tapak PLTN (km)
1	Singkawang	Besar	16	13,319
2	Supadio Int'l airport	Besar	16	110,970
3	Kuching Int'l Airport	Besar	16	183,620

Tabel 4 Perhitungan Nilai Probabilitas

Variable	Bandara		
	Singkawang	Supadio	Kuching
Jarak Tapak ke Bandara	13,319 km (8,276 mil)	110,970 km (68,953 mil)	183,620 km (114,100 mil)
C (Laju kecelakaan penerbangan per mil untuk pesawat udara yang menggunakan jalur penerbangan)	4×10^{-10}	4×10^{-10}	4×10^{-10}
N (Jumlah pergerakan pesawat udara per tahun di sepanjang jalur penerbangan)	20.000	40.000	56.000
A (area tapak PLTN efektif (dalam mil persegi) yang dilalui pesawat udara	5 Ha (0,0199 mil ²)	5 Ha (0,0199 mil ²)	5 Ha (0,0199 mil ²)
W (lebar jalur (ditambah 2 kali jarak ke tapak, jika tapak di luar jalur penerbangan) dalam mil	(45m + 2x13,319 km = 26,683km) 16,58 mil	(45m + 2x110,97 km = 221,985 km) 137,94 mil	(45m + 2x183,62 km = 367,285 km) 228,22 mil
$P_{FA} = C \cdot N \cdot A/W$	3,97328E-12	3,97902E-12	3,97965E-12

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan potensi dan probabilitas jatuhnya pesawat udara di sekitar area tapak PLTN di Kalimantan Barat. Dengan menggunakan hasil studi

ini, dapat diidentifikasi dan dipertimbangkan jarak aman suatu bandar udara ke PLTN skala komersial di Provinsi Kalimantan Barat.

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh probabilitas terjadinya kecelakaan jatuhnya pesawat udara di lokasi rencana tapak PLTN yang terdapat di Provinsi Kalimantan Barat adalah 4×10^{-12} kejadian per tahun. Menurut IAEA (2002), probabilitas jatuhnya pesawat udara di seluruh dunia adalah 10^{-7} kejadian per tahun. Dengan demikian nilai probabilitas terjadinya kecelakaan di lokasi rencana tapak PLTN yang dikaji, yaitu sekitar 4×10^{-12} kejadian per tahun, jauh lebih kecil daripada probabilitas kejadian ini di dunia. Studi ini menunjukkan bahwa lokasi PLTN yang dikaji, di Provinsi Kalimantan Barat, aman dari potensi terjadinya kecelakaan jatuhnya pesawat udara, atau probabilitas kejadian jatuhnya pesawat udara di area tapak PLTN sangat kecil. Hasil penelitian ini merekomendasikan bahwa dari sisi keberadaan Bandara di Kota Singkawang, lokasi tapak PLTN cukup aman, sehingga PLTN tersebut dapat dibangun di titik lokasi yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengawas Tenaga Nuklir di Indonesia (BAPETEN) Republik Indonesia. 2008. *Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2008, tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kejadian Eksternal akibat Ulah Manusia*. Jakarta.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir di Indonesia (BAPETEN) Republik Indonesia. 2018. *Peraturan Kepala BAPETEN RI Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir*. Jakarta.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Guides. 2001. *Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants; IAEA Safety Guides, No. NS-G-1.2*. Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Standard Series. 2002. *External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants. No. NS-G-3.1*. Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Standards Series. 2002. *Safety Guide No. NS-G-3.1 Tahun 2002*. Vienna.
- Lee, L.G., Mines, J.M., dan Webb, B.B. 1993. *Assessment of Aircraft Impact Possibilities at The Idaho Chemical Processing Plant on The Inel Site*. Westinghouse Idaho Nuclear Company, Inc. US. Department of Energy, Idaho Operations Office. Idaho Falls, ID.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*. Jakarta.
- Sugeng, Y.B.S., Alimah, S., dan Mellawati, J. 2016. *Kajian Probabilitas Jatuhnya Pesawat Terbang di Area Tapak Reaktor Daya Eksperimental (RDE) PUSPIPTEK Serpong*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 18 (2): 67–73.
- Syam, N.S. 2011. *Kajian Awal Frekuensi Jatuhnya Pesawat Terbang pada Tapak PLTN dari Jalur Penerbangan*. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir, hlm. 392–400. Jakarta.

United States Nuclear Regulatory Commission (US NRC). 2004. *Standard Review Plan; Aircraft Hazards; RS 002,3.5.1.6*. Rockville, MD.