

ANALISIS PERMASALAHAN *ULTRASONIC SENSOR* PADA *FUEL QUANTITY INDICATION SYSTEM* B777

¹Muhammad Fa'iz Alfatih, ²Rizky Nugraha Saputra

¹Jurusan Teknik Elektro
Sekolah Tinggi Teknologi
Kegirgantaraan, Yogyakarta
faiz.alfatih@sttkd.ac.id

²Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kegirgantaraan, Yogyakarta
rizkynug89@gmail.com

Article history:

Received 30th of April 2025

Revised 30th of May 2025

Accepted 24th of June 2025

The Fuel Quantity Indication System (FQIS) in aviation, particularly in the Boeing 777, relies on ultrasonic sensors for accurate fuel level measurement. However, these sensors exhibit several critical issues, including inaccurate readings, failures due to fuel ingress, and high maintenance costs. This research investigated the root causes of these issues and compared ultrasonic sensor performance with capacitance sensors employed in the Boeing 787. Utilizing a combination of direct observation, engineer interviews, and literature review, the study employed Fishbone and 5W analyses to identify the root causes. Key findings revealed that ultrasonic sensor failures stem primarily from adhesive failure in potting seals, leading to fuel ingress and inaccurate readings. Design, material, and environmental factors also significantly impact sensor reliability. Comparative analysis demonstrated a lower reliability rate for ultrasonic sensors (78.61%) compared to capacitance sensors, which maintained 100% reliability over the same aircraft lifespan.

Keywords: Aircraft fuel sytem, Fuel tank unit, Ultrasonic sensor, Capacitance sensor, Reliability Analysis

Pendahuluan

Sistem pengukuran kuantitas bahan bakar (FQIS) pada pesawat terbang adalah komponen yang sangat penting untuk memastikan keakuratan data bahan bakar sebelum dan selama penerbangan. Keakuratan data ini sangat penting mengingat kapasitas bahan bakar pesawat yang besar dan berbagai kondisi penerbangan yang dihadapi [1]. Teknologi sensor kapasitansi pernah menjadi standar industri, namun Boeing beralih ke teknologi ultrasonik pada pesawat B777 untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi perawatan. Kapasitansi adalah sifat fisik suatu benda untuk menyimpan muatan dan dikembangkan dengan menerapkan perbedaan potensial (tegangan) di media non konduktor (dielektrik). Sistem pengukur kuantitas bahan bakar/fuel quantity indication system merupakan instrument yang digunakan untuk memantau kuantitas bahan bakar di pesawat [2]. Tantangan dalam sistem pengukur kuantitas bahan bakar ini adalah bagaimana dapat menyajikan informasi yang akurat dan realtime dengan berbagai kondisi sikap Pesawat [3]. Sistem pengukur kuantitas bahan bakar/*fuel quantity indication system* bekerja dengan cara mengukur resistansi listrik dari sensor atau unit pengirim yang terbenam di tangki bahan bakar [4]. *Fuel tank unit* (sensor) merupakan teknologi yang digunakan untuk menghitung kuantitas bahan bakar di setiap tangki bahan bakar untuk ditampilkan kepada awak pesawat dan stasiun pengisian bahan bakar [4].

Penelitian serupa dilakukan oleh Di Marzo dkk, yakni pengembangan alat komputasi inovatif, yang menggabungkan diskritisasi dengan geometri deskriptif untuk menyimulasikan dan memperoleh wawasan tentang bagaimana sistem bahan bakar pesawat terbang dan pembacaan sensor dalam berbagai sikap Pesawat [5]. Selanjutnya, penelitian oleh Maretta dan Bedson, yakni terkait penyebab terjadinya kecelakaan yang disebabkan oleh buruknya pengelolaan aktivitas perawatan pesawat terbang (*Fuel Quantity Indicator Replacement*) yang menjadi sumber kesalahan fatal [6]. Menariknya dalam penelitian ini, Boeing kembali menggunakan sensor kapasitansi pada pesawat B787. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis alasan di balik keputusan Boeing tersebut, terutama yang berkaitan dengan kinerja dan keandalan sensor ultrasonik pada FQIS pesawat B777. Diharapkan analisis ini dapat memberikan wawasan lebih dalam mengenai pemilihan teknologi sensor dalam sistem pengukuran bahan bakar pesawat terbang.

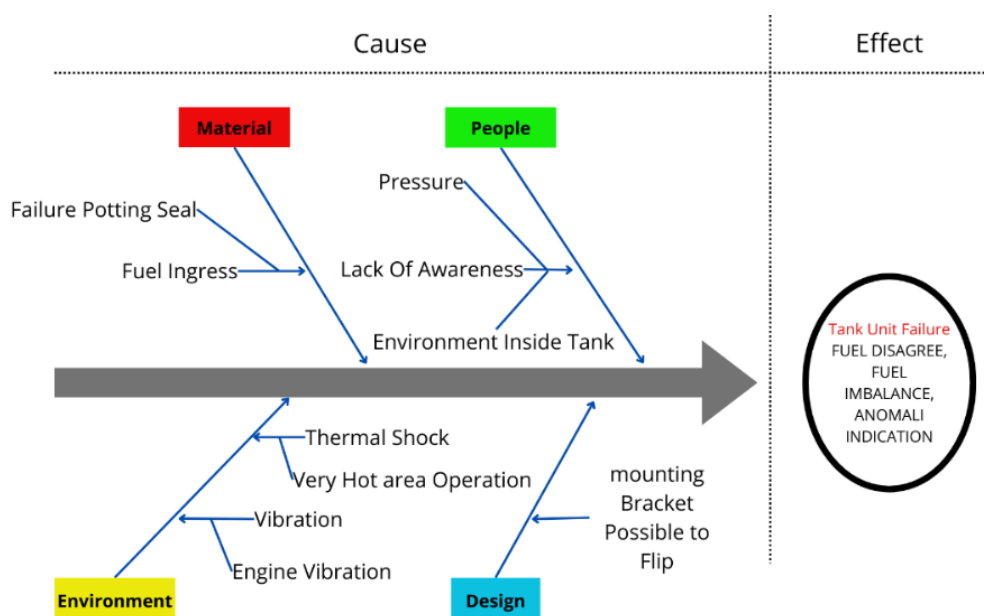
Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dan komparatif. Metode kualitatif digunakan untuk memahami fenomena kegagalan pada *ultrasonic sensor* dan penyebab teknisnya. Metode komparatif digunakan untuk membandingkan dua teknologi sensor: *ultrasonic sensor* pada B777 dan *capacitance sensor* pada B787. Tahapan penelitian meliputi pengamatan seluruh proses kegiatan, pengkajian dokumen, pengumpulan data, wawancara dengan *engineer*, pengumpulan referensi, analisis dan pembahasan, serta penyusunan kesimpulan dan saran penelitian. Adapun peubah yang diamati/diukur dalam penelitian ini mencakup aspek kinerja teknis, reliabilitas, biaya dari *ultrasonic fuel sensor* pada B777 dan *capacitance fuel sensor* pada B787. Selanjutnya, teknik pengumpulan data pada penelitian ini, yaitu: metode pengamatan, metode wawancara, metode literatur, dan metode *online*. Terkait jenis data yang digunakan adalah data teknis pesawat B777-300ER, data permasalahan *ultrasonic sensor*, dan data perbandingan teknologi. Untuk analisis data dalam penelitian ini menggunakan *Root Cause Analysis (RCA)* yang merupakan proses atau teknik mendalam untuk menemukan faktor dasar utama yang mendasari suatu masalah. Metode *RCA* digunakan untuk memperbaiki atau menghilangkan penyebabnya dan mencegah masalah berulang yang sama.

Hasil dan Pembahasan

Sejak diperkenalkan pada tahun 1994, pesawat Boeing 777 mengalami masalah berulang terkait ketidakakuratan pembacaan jumlah bahan bakar [1]. Masalah ini berkisar dari perubahan indikator saat pengisian bahan bakar hingga hilangnya indikator sama sekali. Sebagai respons, Boeing telah mengeluarkan beberapa *Service Bulletin (SB)* dan *Service Letter (SL)* untuk mengganti unit tangki bahan bakar dengan versi yang lebih baru dan diharapkan lebih andal [7], masalah ini terus berlanjut dan dilaporkan oleh berbagai operator, termasuk *Singapore Airlines*. Bahkan, Federal Aviation Administration (FAA) mengeluarkan *Airworthiness Directive (AD)* pada tahun 2020 sebagai respons terhadap laporan-laporan tersebut. Data yang diperoleh dari 10 pesawat Boeing 777-300ER milik Saudia Airlines menunjukkan adanya tren penggantian unit tangki bahan bakar yang cukup sering, mengindikasikan bahwa masalah ini masih menjadi perhatian serius dalam industri penerbangan [8].

Berdasarkan data yang diperoleh didapatkan dari beberapakali penggantian *tank unit* dapat dibuatkan *fishbone* diagram untuk menentukan akar permasalahan.



Gambar 1. Fishbone Diagram Tank Fuel cause

Berdasarkan Gambar 1 *fishbone* diagram diatas dapat diketahui bahwa penyebab kegagalan tank unit disebabkan oleh empat faktor diantaranya yaitu *people*, *design*, *material* dan *environment* [9]. Adapun faktor manusia (*people*) dapat terjadi dikarenakan tekanan pekerjaan yang berlebihan dan kondisi lingkungan di dalam tangki bahan bakar yang gelap dan sempit yang menyebabkan turunya konsentrasi dan ketelitian dalam penggantian tank unit sehingga memungkinkan kesalahan dalam pemasangan mounting bracket tank unit. Kemudian, faktor desain yakni *mounting bracket* yang berbentuk “*dog-ear*” memungkinkan bracket ini terpasang terbalik ketika melakukan penggantian tank unit. Selanjutnya, faktor lingkungan yakni temperatur udara yang berbeda di setiap negara yang dapat menyebabkan bercampurnya suhu bahan bakar antara *fuel upload* dengan *remaining fuel* ketika refueling. Bertemunya *warm fuel* dan *cold fuel* inilah yang menyebabkan pembacaan *tank unit error*. Faktor yang terakhir, yakni material seperti *adhesive potting seal* masih kurang mampu menahan getaran di beberapa lokasi sehingga menyebabkan perekat pada *potting seal* yang terdapat di *base transducer* mengalami pelepasan dan terjadi *fuel ingress*. Akar permasalahan dari *EICAS status message Fuel disagree*, *Fuel imbalance*, *Anomaly Indication* adalah disebabkan oleh *potting seal adhesive failure* sehingga terjadinya *fuel ingress* ke dalam *base transducer tank unit* dan menjadikan *tank unit* melakukan *error* dalam pembacaan *fuel level*.

Selanjutnya, analisis reliability menggunakan metode *Weibull* [10]. Langkah-langkah dalam metode tersebut, yakni menentukan Alpha dan Beta untuk parameter Weibull dari data histori kerusakan, menggunakan metode regresi linear pada persamaan *unreliability* pada distribusi *weibull* dengan menggunakan pendekatan $F(t) = \text{Median Rank}$, dan analisis reliability komponen *Fuel Probe* menggunakan metode Distribusi Weibull.

Diketahui persamaan Unreliability [8]:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Untuk melakukan regresi linear maka persamaan harus diubah menjadi persamaan linear. Maka diberikan log normal pada masing masing sisi sehingga didapatkan $y = a + bx$

$$\begin{aligned} 1 - F(t) &= e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \\ \text{Ln}(1 - F(t)) &= \text{Ln}(e)^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \\ \text{Ln}(1 - F(t)) &= -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \\ -\text{Ln}(1 - F(t)) &= \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \end{aligned}$$

Lalu sekali lagi diberikan Log Normal pada kedua sisi

$$\begin{aligned} \text{Ln}\{-\text{Ln}(1 - F(t))\} &= \text{Ln}\left\{\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right\} \\ \text{Ln}\{-\text{Ln}(1 - F(t))\} &= \beta \text{Ln}\left(\frac{t}{\eta}\right) \end{aligned}$$

Dengan sifat logaritma sehingga

$$\text{Ln}\{-\text{Ln}(1 - F(t))\} = -\beta \text{Ln}(\eta) + \beta \text{Ln}(t)$$

Sesuai dengan persamaan diatas maka:

$$y = a + bx, \text{ maka } y = \text{Ln}\{-\text{Ln}(1 - F(t))\}$$

$$a = -\beta \text{Ln}(\eta); \quad b = \beta; \quad x = \text{Ln}(t)$$

Untuk mendapatkan η diketahui

$$\begin{aligned} a &= -\beta \text{Ln}(\eta) \\ a &= \text{Ln}(\eta)^{-\beta} \end{aligned}$$

Maka didapatkan

$$e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} = \eta$$

Setelah itu melakukan perhitungan regresi

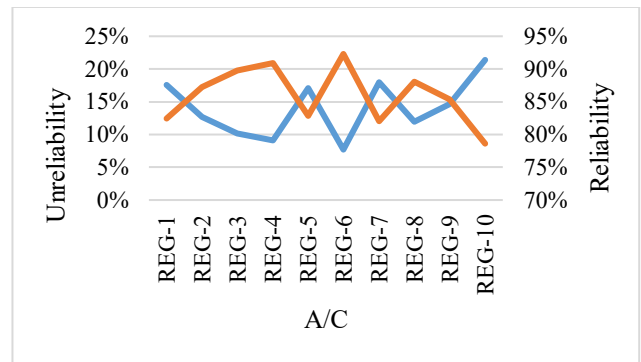
$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N}}$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Berikut ini merupakan hasil perhitungannya.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Reliability, Unreliability, dan Failure Rate

NO	A/C	FAULT	Unreliability	Reliability
1	REG-1	16	17,54%	82,46%
2	REG-2	7	12,72%	87,28%
3	REG-3	4	10,19%	89,81%
4	REG-4	3	9,08%	90,92%
5	REG-5	15	17,12%	82,88%
6	REG-6	2	7,70%	92,30%
7	REG-7	17	17,96%	82,04%
8	REG-8	6	11,97%	88,03%
9	REG-9	10	14,63%	85,37%
10	REG-10	27	21,39%	78,61%



Dari tabel tersebut didapat nilai *reliability* terendah adalah 78.61% dimana terjadi pada pesawat registrasi REG-10 terjadi 27 *fault*/penggantian tank unit dengan usia pesawat 8.2 tahun. Setelah mendapatkan data *reliability* dari *ultrasonic tank unit* B777 sekarang kita bandingkan dengan *capacitive tank unit* B787 dimana boeing lebih memilih teknologi ini dibanding dengan *ultrasonic tank unit*.

Tabel 2. Hasil Komparasi Reliability

No	A/C	Airlines	Type of Aircraft	Age	Total Fault	Fault	Unreliability	Reliability
1	REG-1	Saudia	BOEING 777-300 ER	12.9	16	16	17.54%	82.46%
2	REG-2	Saudia	BOEING 777-300 ER	12.9	7	7	12.72%	87.28%
3	REG-3	Saudia	BOEING 777-300 ER	12.8	4	4	10.19%	89.81%
4	REG-4	Saudia	BOEING 777-300 ER	12	3	3	9.08%	90.92%
5	REG-5	Saudia	BOEING 777-300 ER	8.8	15	15	17.12%	82.88%
6	REG-6	Saudia	BOEING 777-300 ER	8.4	2	2	7.70%	92.30%
7	REG-7	Saudia	BOEING 777-300 ER	8.3	17	17	17.96%	82.04%
8	REG-8	Saudia	BOEING 777-300 ER	8.2	6	6	11.97%	88.03%
9	REG-9	Saudia	BOEING 777-300 ER	7.9	10	10	14.63%	85.37%
10	REG-10	Saudia	BOEING 777-300 ER	8.2	27	27	21.39%	78.61%
11	REG-1	Saudia	BOEING 787-9	8.9	0	0	0.00%	100.00%
12	REG-2	Saudia	BOEING 787-9	8.9	0	0	0.00%	100.00%
13	REG-3	Saudia	BOEING 787-9	8.9	0	0	0.00%	100.00%
14	REG-4	Saudia	BOEING 787-9	8.6	0	0	0.00%	100.00%
15	REG-5	Saudia	BOEING 787-9	7.7	0	0	0.00%	100.00%
16	REG-6	Saudia	BOEING 787-9	7.7	0	0	0.00%	100.00%
17	REG-7	Saudia	BOEING 787-9	7.5	0	0	0.00%	100.00%
18	REG-8	Saudia	BOEING 787-9	7.3	0	0	0.00%	100.00%
19	REG-9	Saudia	BOEING 787-9	7.8	0	0	0.00%	100.00%
20	REG-10	Saudia	BOEING 787-9	7.6	0	0	0.00%	100.00%

Tabel 3. Maintenance Cost Replacement Tank Unit

No	Action	Mpwr	Mhr	Cost in USD
1	Defueling	2	2	160
2	Opening Panel	1	1	40
3	Purging	2	4	320
4	Replacement	2	1	80
5	Restoration panel	1	1	40
6	Refueling & Leak Check	2	2	160
Total				800

Note : Cost exclude part replacemet and equipment

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa *reliability capacitive tank unit* lebih baik dari *ultrasonic tank unit* dengan nilai *reliability* mencapai 100% diusia pesawat 8,9 tahun. Kemudian komparasi juga dilakukan terkait *maintenance cost*. Dari sisi *maintenance cost*, penggunaan *ultrasonic tank unit* pada B777 membutuhkan biaya *non routine maintenance* sebesar 800 USD (diluar pembelian part dan equipment) untuk melakukan penggantian tank unit dan membutuh *groundtime* minimum 24 jam. Sedangkan untuk *capacitanace* tank unit B787 tidak membutuhkan tambahan *non routine maintenance cost* dikarenakan memiliki *reliability* 100%.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sensor ultrasonik pada *Fuel Quantity Indication System (FQIS)* Boeing B777 mengalami masalah keandalan yang signifikan akibat berbagai faktor, termasuk desain, material, dan kondisi lingkungan, yang mengakibatkan kegagalan pembacaan dan meningkatkan biaya perawatan, sehingga Boeing memutuskan untuk kembali menggunakan sensor kapasitansi pada model 787 yang terbukti lebih handal. Solusinya, untuk meningkatkan kehandalan sistem dan mencegah penundaan penerbangan akibat kegagalan sensor ultrasonik, diperlukan peningkatan kekuatan material dan desain sensor, serta pemantauan kinerja tank unit secara berkala untuk melakukan penggantian proaktif jika terjadi anomali pembacaan yang berulang.

Daftar Pustaka

- [1] Cyrilus Sukoco Budiono, "Analisis Terhadap Starter Motor Auxiliary Power Unit 85 / 129E Saat on Pada Pesawat Boeing 737-300 / Pk-Yvw," *Anal. Terhadap Start. Mot. Aux. Power Unit 85/129E Saat Pada Pesawat Boeing 737*, vol. 2, no. 2, pp. 15–18, 2012.
- [2] A. Jasmine, A. R. Putranto, A. Charles, and A. Sodikin, "Payload Optimization Comparison of Airbus 330 - 300 and Boeing 777 - 300ER Aircraft," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1573, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1573/1/012023.
- [3] R. M. Tookey, M. G. Spicer, and D. J. Diston, "Integrated Design and Analysis of an Aircraft Fuel System," no. April, pp. 22–25, 2002, doi: 10.13140/2.1.4970.2726.
- [4] A. Putra *et al.*, "Pembuatan Model Alat Ukur Bahan Bakar Tangki Helikopter Menggunakan Metode Kapasitansi," *J. Teknol. Ind.*, vol. 8, pp. 18–26, 2019.
- [5] M. A. D. Di Marzo, P. G. Calil, H. N. Najafabadi, V. L. Takase, C. H. B. Mourão, and J. H. Bidinotto, "Computational Tool for Aircraft Fuel System Analysis," *Aerospace*, vol. 11, no. 5, pp. 1–29, 2024, doi: 10.3390/aerospace11050362.
- [6] R. M. A. Marretta and J. A. D. Bedson, "Risk assessment of fuel quantity indicator replacement in ATR 72 aircraft," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part O J. Risk Reliab.*, vol. 229, no. 6, pp. 587–603, 2015, doi: 10.1177/1748006X15595540.
- [7] B. S. Bulletin, "SB777 - 28 - 0007 Fuel Indicating Tank Unit Charge," 1977.
- [8] B. S. Bulletin, "SB - 777 - 28A0090 Fuel Quantity Indicating System - Fuel Quantity Processor Unit Software Charge," p. 2021, 2021.
- [9] B. S. Letter, "777 - SL - 28 - 025. Fuel Quantity Indication System (FQIS) Tank Unit Reliability Improvement," p. 2009, 2009.
- [10] K. A. Singh, M. G. M. Khan, and M. R. Ahmed, "Wind Energy Resource Assessment for Cook Islands with Accurate Estimation of Weibull Parameters Using Frequentist and Bayesian Methods," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 25935–25953, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3156933.