

Pengaruh *Drain Fueling After Remain Over Night* Terhadap Pertumbuhan Mikroba Boeing 737-8 MAX

Muhammad Rafli¹ Wahyu Cakra Nugraha² Dody Herdianto³

Program Studi Teknik Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: m.raflibr19@gmail.com¹ wahyu.cakra@ppicurug.ac.id²
dody.herdianto@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Keandalan sistem bahan bakar pada pesawat terbang modern, khususnya Boeing 737-8 MAX, sangat bergantung pada ketepatan prosedur pemeliharaan preventif yang dilakukan. Salah satu tantangan teknis yang krusial dalam operasional harian adalah potensi kontaminasi mikrobiologi yang dipicu oleh akumulasi air bebas di dalam tangki bahan bakar. Fenomena ini sering kali terjadi ketika pesawat mengalami fase *Remain Over Night* (RON), di mana durasi parkir yang panjang memungkinkan terjadinya proses kondensasi akibat fluktuasi suhu lingkungan, yang secara termodinamika mengubah uap air di ruang tangki menjadi tetesan air bebas (*free water*). Air bebas inilah yang menjadi media utama bagi pertumbuhan mikroorganisme patogen, terutama jamur *Hormoconis resinae*, yang dikenal sebagai jamur bahan bakar jet karena kemampuannya memproduksi asam organik yang memicu korosi struktur tangki aluminium dan membentuk lapisan lendir (*slime mats*) yang dapat menyumbat filter bahan bakar. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi secara mendalam efektivitas prosedur *drain fueling* harian dalam mereduksi penumpukan air kondensasi serta menekan pertumbuhan koloni mikroba pada armada Boeing 737-8 MAX milik PT. Airfast Indonesia. Metode penelitian yang diterapkan adalah eksperimen kuantitatif dengan pendekatan komparatif, menggunakan alat uji MicrobMonitor2 untuk menghitung secara presisi jumlah *Colony Forming Units* (CFU) dalam sampel bahan bakar. Penelitian ini membagi subjek observasi ke dalam dua kelompok perlakuan: kelompok pertama sebagai kontrol yang tidak mendapatkan perlakuan drainase rutin pasca RON, dan kelompok kedua sebagai variabel uji yang mendapatkan prosedur drainase secara terjadwal setiap hari pasca fase RON. Pengambilan sampel dilakukan pada enam titik observasi dengan masa inkubasi media gel selama empat hari untuk mendapatkan data populasi mikroba yang valid dan akurat. Hasil analisis data menunjukkan perbedaan tingkat kontaminasi yang sangat drastis dan signifikan secara statistik antara kedua kelompok perlakuan. Kelompok pertama yang tidak mendapatkan intervensi drainase menunjukkan indikasi proliferasi mikroba yang sangat berat, dengan estimasi tingkat kontaminasi mencapai nilai $\geq 10^5 - 10^6$ CFU/L. Tingkat ini jauh melampaui ambang batas toleransi operasional, sehingga menempatkan bahan bakar pada status kontaminasi "Heavy" atau berat, yang secara teknis mewajibkan tindakan korektif segera melalui aplikasi *biocide* dan inspeksi visual menyeluruh ke dalam tangki bahan bakar guna mencegah kerusakan struktural lebih lanjut. Sebaliknya, hasil pengujian pada kelompok kedua yang disiplin menerapkan prosedur *drain fueling* harian pasca fase RON menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Observasi visual konsisten menunjukkan ketiadaan pertumbuhan koloni yang signifikan, dengan estimasi tingkat kontaminasi berhasil ditekan hingga berada di level terendah, yaitu < 2.000 CFU/L. Data ini mengonfirmasi bahwa status kontaminasi bahan bakar pada kelompok tersebut tetap terjaga pada kategori "Negligible" atau aman, sesuai dengan standar operasional yang ditetapkan oleh *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) serta pedoman *International Air Transport Association* (IATA). Kesimpulan akhir dari penelitian ini menegaskan bahwa prosedur *drain fueling* harian pasca fase RON bukan sekadar rutinitas pemeliharaan, melainkan mitigasi primer yang sangat efektif untuk memutus siklus pertumbuhan mikroorganisme di lingkungan tangki bahan bakar. Konsistensi dalam pelaksanaan prosedur ini terbukti secara empiris mampu menjaga integritas struktural tangki, mencegah potensi *Microbiologically Influenced Corrosion* (MIC), dan memastikan keandalan sistem bahan bakar yang sangat krusial bagi keselamatan penerbangan. Penelitian ini merekomendasikan pengetatan prosedur pengawasan harian dan edukasi sterilitas bagi personel teknisi untuk memastikan efektivitas pemeliharaan yang berkesinambungan.

Kata Kunci: Boeing 737-8 MAX, *Drain Fueling*, *Remain Over Night* (RON), *Hormoconis resinae*, MicrobMonitor2, Kontaminasi Mikroba



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Keberhasilan dan keamanan operasional penerbangan sangat ditentukan oleh keandalan sistem pendukung pesawat, khususnya sistem bahan bakar pada generasi modern seperti Boeing 737-8 MAX. Tantangan teknis krusial sering kali muncul ketika pesawat berada dalam fase *Remain Over Night* (RON), di mana bahan bakar bersuhu rendah terpapar udara luar yang lembap. Fenomena termodinamika ini memicu kondensasi masif dan menghasilkan air bebas (*free water*) di dasar tangki. Air bebas ini menjadi media ideal bagi perkembangbiakan mikroorganisme patogen, terutama jamur *Hormoconis resinae*, yang mampu memproduksi asam organik penyebab *Microbiologically Influenced Corrosion* (MIC) pada paduan aluminium struktural. Kajian terdahulu menyoroti bahaya serius yang diakibatkan oleh kontaminan mikrobiologis. Lu et al. (2024) menemukan bahwa tingkat korosi struktural akibat bakteri pada paduan aluminium di lingkungan aviasi meningkat secara ekstrem mulai dari hari ke-7, yang secara kuat menegaskan perlunya frekuensi deteksi kontaminasi mikroba secara rutin. Sejalan dengan temuan tersebut, Hu et al. (2020) menguji hubungan tingkat kontaminasi terhadap masa pakai operasional, sementara Pruski & Sprynskyy (2024) memaparkan tinjauan komprehensif mengenai bagaimana biofilm berlendir yang dihasilkan mikroba mampu menyumbat filter bahan bakar secara prematur. Selain itu, Matvyeyeva et al. (2021) mengonfirmasi bahwa sebagian besar sampel bahan bakar dari fasilitas bandara telah mengandung berbagai inklusi mikrobiologis yang mendegradasi kualitas bahan bakar. Penelitian yang dilakukan oleh Hu et al. (2019) juga telah mengidentifikasi keragaman profil mikroba secara molekuler, dengan dominasi jamur yang terdeteksi di lingkungan tangki bahan bakar aviasi.

Kesenjangan penelitian (*gap analysis*) dari berbagai kajian literatur di atas adalah belum adanya penelitian eksperimental spesifik yang menguji dan membandingkan secara langsung efektivitas tindakan fisik *drain fueling* harian sebelum dan sesudah RON pada armada Boeing 737-8 MAX di lingkungan operasional beriklim tropis. Penelitian ini hadir dengan perbedaan unik yaitu berfokus pada validasi langkah mitigasi perawatan preventif menggunakan prosedur konvensional harian yang dampaknya diukur secara kuantitatif. Penelitian ini dinilai sangat penting untuk mencegah kerugian finansial akibat *unscheduled maintenance*. Tujuan penelitian dalam artikel ini secara lugas adalah menganalisis perbandingan jumlah populasi mikroba antara sampel tanpa drainase dengan sampel yang didrainase secara rutin pasca fase RON, serta mengevaluasi efektivitas prosedur *drain fueling* dalam memutus siklus hidup mikroba.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi
1	Lu et al. (2024)	How Often Should Microbial Contamination Be Detected...	Menentukan frekuensi optimal pendeteksian mikroba	Eksperimental Laboratorium	Korosi struktur meningkat ekstrem mulai dari hari ke-7	Menegaskan perlunya frekuensi deteksi
2	Matvyeyeva et al. (2021)	Microbiological Contamination of Motor Fuels...	Menetapkan hubungan kontaminasi pada bahan bakar	Penelitian Eksperimental	Bahan bakar menunjukkan adanya inklusi mikrobiologis	Pentingnya langkah deteksi dini
3	Pruski & Sprynskyy (2024)	Jet Fuel Contamination: Forms, Impact...	Meninjau jalur kontaminasi bahan bakar aviasi	Tinjauan Pustaka komprehensif	Mikroba memicu biofilm yang menyumbat filter	Referensi pencegahan biofilm

4	Hu et al. (2019)	Profiling the microbial contamination in aviation fuel...	Mencirikan jenis dan tingkat kontaminasi	Eksperimental Laboratorium	Terdeteksi keragaman mikroba yang tinggi	Identifikasi filum jamur dominan
5	Hu et al. (2020)	A survey of microbial contamination in aviation fuel...	Menguji hubungan kontaminasi dengan masa pakai	Survei Eksperimental	Risiko rendah secara umum namun terdeteksi di pesawat	Pentingnya survei langsung tangki

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah Penelitian Kuantitatif dengan jenis penelitian Eksperimen yang memiliki pendekatan komparatif. Instrumen atau alat utama yang digunakan untuk pengumpulan dan pengolahan data adalah perangkat uji MicrobMonitor2, yang telah memenuhi standar ASTM D7978 dan IP613 serta direkomendasikan secara resmi oleh IATA. Metode Kultur Gel Tiksotropik di dalam alat uji ini digunakan untuk menghitung jumlah *Colony Forming Units* (CFU) secara presisi dengan keakuratan tinggi. Penelitian ini berlokasi di fasilitas perawatan pesawat PT. Airfast Indonesia (Terminal 1C Bandara Internasional Soekarno-Hatta), dengan subjek observasi eksklusif pada pesawat Boeing 737-8 MAX ber-registrasi PK-OFM. Jumlah responden yang berupa unit sampel dalam penelitian ini ditetapkan sebanyak enam sampel bahan bakar Jet A-1. Tata cara percobaan dilakukan dengan membagi sampel menjadi dua kelompok perlakuan utama. Kelompok pertama bertindak sebagai observasi statis yang tidak mendapatkan perlakuan drainase rutin pasca RON. Kelompok kedua merepresentasikan prosedur perawatan preventif dan diambil setelah prosedur *sump draining* harian dilaksanakan setiap kali pesawat menyelesaikan fase RON. Seluruh proses pengambilan sampel, inokulasi, dan homogenisasi dilakukan di lokasi pengujian. Cara mengolah data hasil eksperimen melibatkan proses inkubasi media gel selama 4 hari pada kondisi minim cahaya bersuhu ruangan. Cara mengukur tolak ukur kinerja adalah dengan mengonversi jumlah koloni merah kehitaman yang terbentuk pada alat ukur menjadi nilai kuantitatif dengan satuan CFU per liter, kemudian membandingkannya secara langsung dengan standar toleransi operasional dalam *Aircraft Maintenance Manual* (AMM).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

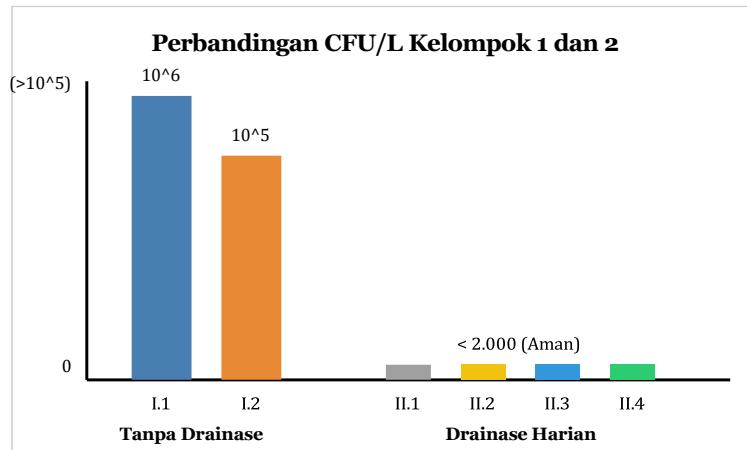
Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh dari uji kuantitatif menunjukkan disparitas profil kontaminasi yang sangat tajam antara dua perlakuan observasi. Pada kelompok pertama, inspeksi visual terhadap sampel bahan bakar memperlihatkan formasi struktur berserat dan gumpalan kemerahan yang sangat padat dan menyebar di dalam media gel uji. Sementara itu, sampel pada kelompok kedua yang mendapat intervensi drainase konsisten menampakkan kejernihan pada gel tanpa indikasi visual pertumbuhan koloni jamur yang signifikan. Kalkulasi tingkat populasi disajikan pada tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Hitung Koloni dan Status Kontaminasi Mikroba

Kelompok Sampel	Estimasi Hasil Hitung Koloni	Status Kontaminasi (AMM/ IATA)
Kelompok Pertama (Tanpa Drainase Harian)	$\geq 10^5$; -10^6 CFU/L	<i>Heavy</i> (Berat)
Kelompok Kedua (Dengan Drainase Harian Pasca RON)	< 2.000 CFU/L	<i>Negligible</i> (Aman)

Tabel 2 membuktikan bahwa tanpa perlakuan khusus, jumlah mikroba dapat menembus angka jutaan sel per liter yang mewajibkan *corrective action*, sedangkan drainase rutin sukses menekan level biologis ke batas bawah deteksi pengujian.



Gambar 1. Grafik Perbandingan CFU/L Kelompok Pertama dan Kedua

Pembahasan

Apakah data yang disajikan sudah menjawab permasalahan penelitian? Data tingkat kontaminasi CFU/ L yang divisualisasikan pada Gambar 1 dengan jelas memperlihatkan efektivitas tinggi dari rutinitas harian di lingkungan operasional nyata. Hasil pada kelompok pertama (tidak didrainase) menunjukkan angka yang melampaui 100.000 CFU/L, masuk ke dalam kategori *Heavy*, yang secara operasional mengharuskan diaplikasikannya senyawa *Biocide* secara paksa ke dalam sistem tangki. Sebaliknya, intervensi mekanis secara rutin pada kelompok kedua meminimalisasi CFU/L ke level <2.000 (*Negligible*). Temuan ini sukses menjawab rumusan masalah dengan menyediakan bukti kuantitatif valid. Mengapa terjadi fenomena pertumbuhan yang ekstrem pada tangki Boeing 737-8 MAX? Hubungan antara hasil yang diperoleh dengan konsep dasar bermuara pada mekanisme termodinamika selama fase parkir malam hari. Proses *cold soaked fuel* di dalam tangki yang berinteraksi dengan iklim bandara yang hangat dan lembap memicu presipitasi molekul air secara besar-besaran. Ketika antarmuka air dan bahan bakar (*fuel-water interface*) tidak segera dipisahkan melalui prosedur drainase sebelum pengoperasian mesin (*pre-flight*), spora *Hormoconis resiniae* mendapatkan sumber oksigen dan hidrokarbon yang berlimpah untuk berpolimerisasi serta membentuk asam organik yang menjadi agen utama korosi mikrobiologis pada plat aluminium pesawat. Apakah terdapat kesesuaian dengan hasil penelitian orang lain? Hasil evaluasi ini sangat selaras dengan penelitian Lu et al. (2024), yang menyatakan bahwa korosi struktural meningkat drastis jika masa inkubasi dibiarkan tanpa tindakan ekstraksi. Namun, studi ini memajukan temuan Hu et al. (2020) dengan membuktikan bahwa dari sudut pandang praktis pemeliharaan, drainase fisik jauh lebih efisien untuk memutus siklus hidup mikroba dibandingkan tindakan kuratif pasca-infeksi. Artikel ini menghasilkan postulat praktis baru bahwa keandalan sistem fluida aviasi tidak hanya bergantung pada kecanggihan perangkat keras OEM, namun dipengaruhi secara mutlak oleh kedisiplinan eksekusi pembuangan air kondensasi manual.

KESIMPULAN

Pelaksanaan prosedur *drain fueling* pasca fase *Remain Over Night* (RON) terbukti memberikan efektivitas mutlak dalam memutus rantai proliferasi mikroorganisme patogen di dalam sistem bahan bakar Boeing 737-8 MAX. Pengujian komparatif menunjukkan kelompok yang dibiarkan tanpa drainase mengalami lonjakan eksponensial dengan tingkat kontaminasi masuk dalam kategori berat ($\geq 10^5$ – 10^6 CFU/L), yang menuntut tindakan perbaikan kimiawi darurat. Sebaliknya, aplikasi drainase harian mampu mengekstraksi media air kondensasi secara tuntas dan menjaga status biologis bahan bakar dalam level sangat

aman (< 2.000 CFU/L). Simpulan ini menetapkan kaidah bahwa pemeliharaan preventif fisik harian merupakan mitigasi paling efektif untuk mencegah risiko korosi struktural. Kekurangan dalam penelitian ini adalah observasi dilakukan dengan kondisi operasional waktu tunggal dan jumlah sampel yang terbatas pada satu registrasi pesawat. Disarankan untuk penelitian selanjutnya agar menambah volume komparasi dengan memvariasikan rentang durasi waktu parkir RON, serta memperluas cakupan sampel pada maskapai dan varian armada yang berbeda. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Wahyu Cakra Nugraha, S.ST., M.T., MS.ASAA, dan Bapak Dody Herdianto, S.Tr.T., selaku dosen pembimbing, serta manajemen PT. Airfast Indonesia yang telah mendukung fasilitas observasi secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Boeing Commercial Airplanes. (2019). *737 MAX Airplane Characteristics for Airport Planning D6-384004 Rev E*.
- Hu, D., Lin, W., Zeng, J., Wu, P., Zhang, M., Guo, L., Ye, C., Wan, K., & Yu, X. (2019). Profiling the microbial contamination in aviation fuel from an airport. *Biofouling*, 35(8), 856–869. <https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1671977>
- Hu, D., Zeng, J., Wu, S., Li, X., Ye, C., Lin, W., & Yu, X. (2020). A survey of microbial contamination in aviation fuel from aircraft fuel tanks. *Folia Microbiologica*, 65(2), 371–380. <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00744-w>
- Lu, B., Zhang, Y., Guo, D., Li, Y., Zhang, R., Cui, N., & Duan, J. (2024). How Often Should Microbial Contamination Be Detected in Aircraft Fuel Systems? An Experimental Test of Aluminum Alloy Corrosion Induced by Sulfate-Reducing Bacteria. *Materials*, 17(14). <https://doi.org/10.3390/ma17143523>
- Matvyeyeva, O., Vovk, Y., & Nilow, O. (2021). Microbiological Contamination of Motor Fuels: Analysis and Identification In Fuelling Companies. *Proceedings of the National Aviation University*, 86(1), 49–56. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.86.15444>
- Pruski, D., & Sprynskyy, M. (2024). Jet Fuel Contamination: Forms, Impact, Control, and Prevention. *Energies*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/en17174267>