

# Studi Kasus *The Failure of The MCAS (Maneuvering Characteristic Augmentation System)* pada pesawat BOEING 737 MAX-8

Mu'arif Abbas Tampubolon<sup>\*1</sup>, Ir. Lalu Giat Juangsa Putra, ST., M.T.\* and Sutarto, S.Si. T., M. M

\*

\* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: muarifabbas30@gmail.com

## Abstrak

Tugas akhir ini merupakan studi kasus mendalam tentang kegagalan MCAS (*Maneuvering Characteristics Augmentation System*) pada pesawat Boeing 737 MAX 8. Fokus utama pembahasan adalah mempelajari insiden konkret yang melibatkan MCAS, mengevaluasi dampaknya terhadap kinerja penerbangan pesawat, dan menyajikan rekomendasi untuk perbaikan sistem. Tugas akhir ini menyelidiki faktor penyebab kerusakan MCAS. Tugas akhir ini juga akan memberikan wawasan mendalam mengenai peristiwa kronologis dan memperkuat rekomendasi untuk peningkatan desain dan prosedur penerbangan. Selain itu, tugas akhir ini menyoroti pentingnya pelatihan awak pesawat terkait dengan sistem seperti MCAS, dan memberikan rekomendasi untuk peningkatan transparansi informasi terkait sistem otomatisasi pesawat kepada pilot.

**Kata kunci:** Kunci: Studi Kasus, Kerusakan MCAS, Boeing 737-MAX, Kinerja Penerbangan, Perbaikan System, Faktor Penyebab, Peristiwa Kronologis, Pelatihan Awak Pesawat, Peningkatan Transparansi, Sistem Otomatisasi

## Abstract

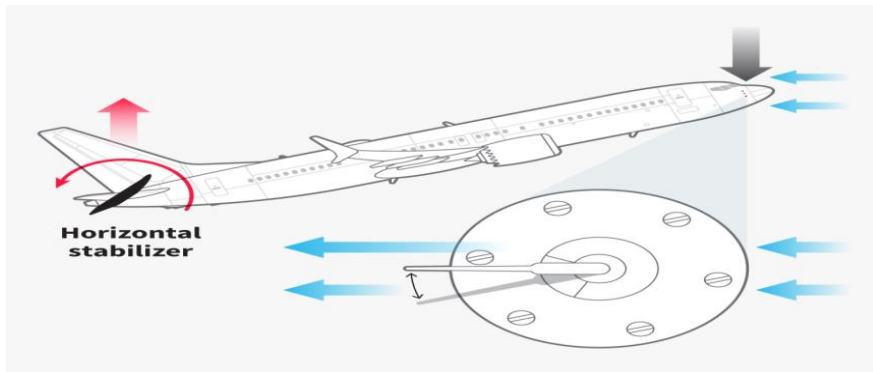
*This final project constitutes an in-depth case study on the failure of the Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS) on the Boeing 737 MAX 8 aircraft. The primary focus of the discussion is to analyze specific incidents involving MCAS, evaluate their impact on aircraft flight performance, and present recommendations for system improvement. By considering flight data, this final project provides in-depth insights into the chronological events and reinforces recommendations for enhancing design and flight procedures. Additionally, the final project highlights the importance of flight crew training related to systems like MCAS and provides recommendations for improving transparency of information regarding aircraft automation systems to pilots.*

**Keywords:** *Case Study, MCAS Failure, Boeing 737-MAX, Flight Performance, System Improvements, Root Causes, Chronological Events, Pilot Training, Transparency Improvement, Automation Systems*

## 1 Pendahuluan

Dalam era penerbangan modern, pengembangan teknologi penerbangan menjadi fokus utama untuk mencapai tingkat keselamatan dan efisiensi yang optimal. Salah satu inovasi signifikan adalah sistem augmentasi karakteristik manuver pada pesawat terbang, yang dirancang untuk meningkatkan kontrol dan kestabilan pesawat. Namun, pada praktiknya, tidak semua implementasi teknologi ini berjalan tanpa hambatan. Tugas akhir ini akan membahas secara mendalam mengenai kegagalan sistem augmentasi karakteristik manuver pada pesawat Boeing 737 MAX-8.

Boeing 737 MAX-8, sebagai pesawat yang telah menjadi tulang punggung dalam industri penerbangan, mengalami tantangan serius terkait dengan sistem augmentasi karakteristik manuvernya. Kegagalan ini menjadi perhatian serius karena dapat mengancam keselamatan penerbangan dan menimbulkan konsekuensi yang luas dalam industri penerbangan global.

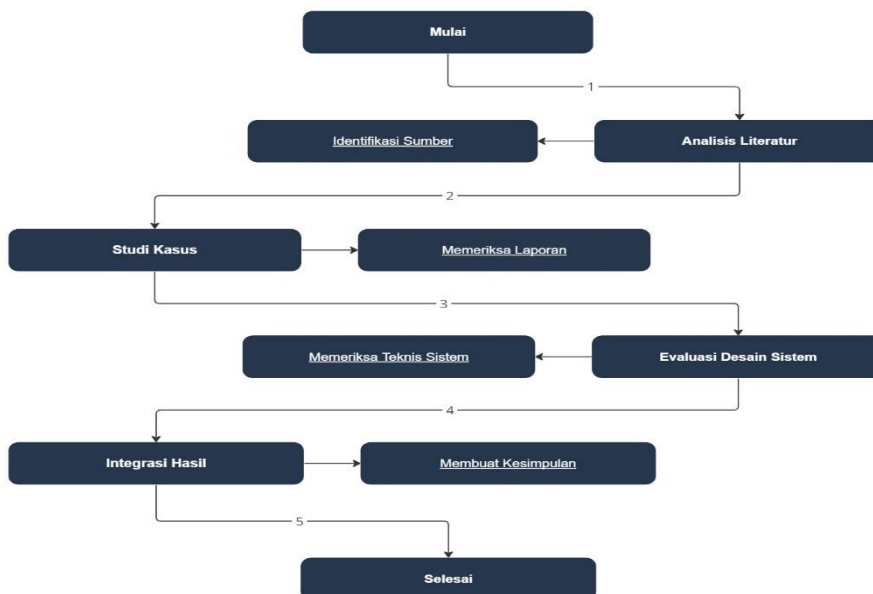


Gambar 1: *Angle of attack sensor dan Horizontal stabilizer yang menjadi bagian dari operasional MCAS*

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan sistem augmentasi karakteristik manuver pada pesawat Boeing 737 MAX-8. Hal ini dilakukan dengan menyelidiki penyebab, dampak, dan respon terhadap kegagalan sistem tersebut. Selanjutnya, penelitian ini akan memberikan wawasan komprehensif tentang masalah ini dengan memberikan gambaran umum tentang sistem augmentasi karakteristik manuver, menganalisis desain dan implementasi pada pesawat Boeing 737 MAX-8, serta menyoroti insiden atau kecelakaan yang terkait dengan kegagalan sistem tersebut.

Batasan masalah penelitian ini meliputi fokus pada permasalahan pesawat Boeing 737 MAX-8, serta terhadap kegagalan desain, dan sistem, tanpa memasukkan analisis terhadap aspek lain dari pesawat atau sistem lainnya. Terakhir, penelitian ini tidak memasukkan aspek sosial lainnya yang mungkin terkait dengan kegagalan sistem augmentasi karakteristik manuver pada pesawat Boeing 737 MAX-8. Dengan memperjelas tujuan dan batasan masalah, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman dan penanganan masalah kegagalan sistem pada pesawat Boeing 737 MAX-8 serta mendukung langkah-langkah perbaikan dan peningkatan keselamatan dalam industri penerbangan.

## 2 Metodologi Penelitian



Gambar 2: *Flowchart penelitian*

Metodologi penelitian ini dirancang untuk menyelidiki secara menyeluruh kegagalan sistem augmentasi karakteristik manuver pada pesawat Boeing 737 MAX-8. Pendekatan penelitian ini mencakup :

### 2.1 Analisis Literatur

Pertama-tama, analisis literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar sistem augmentasi karakteristik manuver, termasuk prinsip-prinsip desain, aplikasi praktis, dan pengaruhnya pada kinerja pesawat. Dalam tahap ini, sumber-sumber teoritis dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem tersebut akan diidentifikasi

dan dianalisis untuk membentuk landasan teoritis yang kuat.

## 2.2 Studi Kasus

Kedua, studi kasus akan dilakukan dengan memeriksa insiden dan kecelakaan yang melibatkan Boeing 737 MAX-8 terkait dengan kegagalan sistem augmentasi karakteristik manuver. Data dari laporan penyelidikan kecelakaan, dokumentasi teknis, dan rekaman penerbangan akan diteliti untuk mengidentifikasi pola, penyebab, dan dampak dari kegagalan tersebut.

## 2.3 Evaluasi Desain Sistem

Selanjutnya, evaluasi desain sistem akan difokuskan pada pemahaman mendalam terhadap bagaimana sistem tersebut diimplementasikan pada pesawat Boeing 737 MAX-8. Ini melibatkan pemeriksaan terhadap spesifikasi teknis, bagaimana sistem di program, dan interaksi dengan sistem lainnya.

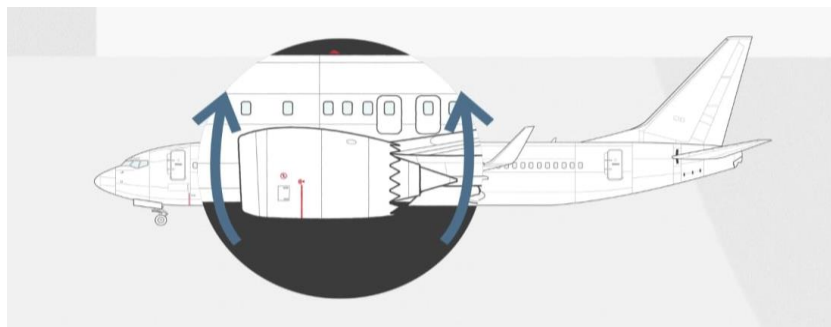
## 2.4 Integrasi Hasil

Dengan menggabungkan hasil analisis literatur, studi kasus, dan evaluasi desain sistem, diharapkan metodologi ini dapat memberikan wawasan yang holistik terhadap kegagalan sistem pada pesawat Boeing 737 MAX-8. Pendekatan ini dirancang untuk menghasilkan pemahaman yang mendalam tentang permasalahan tersebut.

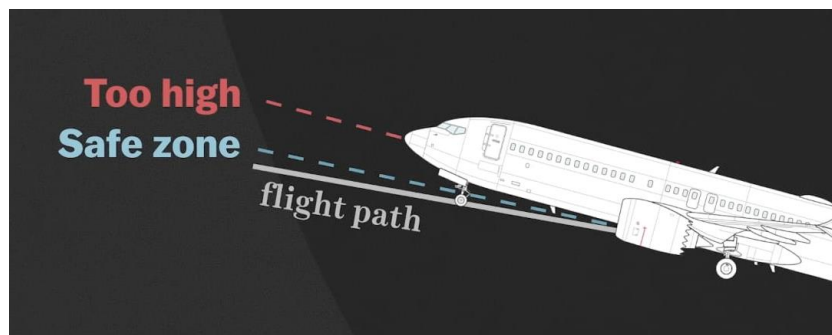
# 3 Analisa Data dan Pembahasan

## 3.1 Analisis Literatur

Analisa dan pembahasan dimulai dari memahami konsep dasar Sistem Augmentasi Karakteristik Manuver (MCAS), sebenarnya adalah sistem otomatis yang dirancang untuk meningkatkan karakteristik manuver pesawat, khususnya dalam kondisi penerbangan tertentu. Pada Boeing 737 MAX, MCAS dibuat untuk mengatasi kecenderungan pesawat yang lebih besar untuk mendongak (*pitch up*) pada sudut serang tinggi. Hal ini disebabkan oleh perubahan desain seperti posisi mesin yang lebih maju dan lebih besar. Posisi mesin yang lebih tinggi dan ke depan pada sayap menyebabkan perubahan aerodinamika yang membuat hidung pesawat cenderung naik pada sudut serang tertentu. Oleh karena itu, diperlukan intervensi otomatis untuk menjaga stabilitas pesawat. [1]

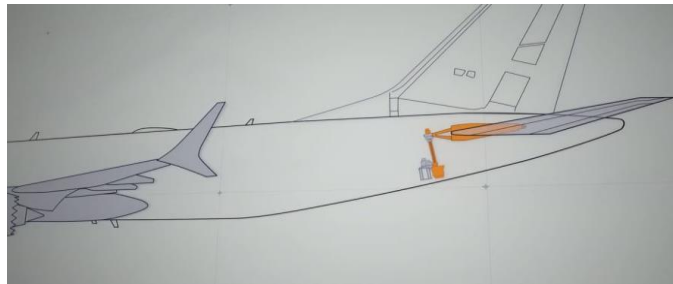


Gambar 3: Posisi mesin yang lebih maju, lebih besar, dan lebih tinggi dari sayap



Gambar 4: Posisi hidung pesawat saat kondisi *full thrust* pada varian 737 MAX

MCAS menggunakan sensor *Angle of Attack* (AoA) untuk mendeteksi sudut serang pesawat. Jika sudut ini melebihi ambang batas tertentu, MCAS akan aktif. Sistem ini dirancang untuk merespons perubahan kecil dalam sudut serang dan melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk menjaga stabilitas. Saat MCAS aktif, sistem akan secara otomatis menggerakkan *stabilizer horizontal* (trim horizontal) untuk menurunkan hidung pesawat, mengurangi sudut serang, dan mencegah *stall*. Pengendalian ini dilakukan secara halus dan bertahap untuk memastikan respons pesawat tetap stabil. Meskipun MCAS bekerja secara otomatis, sistem ini diharapkan berfungsi dengan redundansi yang cukup untuk memastikan keandalan dan keselamatan. [2] Namun, dalam desain awalnya, MCAS pada 737 MAX hanya bergantung pada satu sensor AoA, yang kemudian dikritik karena kurangnya keandalan. [3]



**Gambar 5: Stabilizer Trim System**

MCAS dirancang untuk bekerja secara otomatis tanpa intervensi pilot, terutama pada situasi di mana pesawat mendekati sudut serang tinggi saat terbang dengan konfigurasi tertentu. Ini diharapkan membantu pilot dengan memberikan bantuan stabilitas tambahan secara otomatis. MCAS aktif saat sudut serang mencapai nilai tertentu dan pada kecepatan tertentu, biasanya dalam konfigurasi *flap up* (setelah lepas landas dan sebelum mendarat). Kondisi ini mencerminkan saat-saat di mana kecenderungan *pitch-up* yang dihasilkan oleh desain pesawat paling mungkin terjadi. [3]

MCAS memberikan kontribusi terhadap stabilitas longitudinal pesawat dengan mencegah hidung pesawat terlalu mendongak. Ini membantu menjaga pesawat tetap terkontrol dalam kondisi kritis, khususnya saat sudut serang tinggi yang bisa berpotensi menyebabkan *stall*. Pada kondisi normal, MCAS membantu mencegah *stall* dan meningkatkan keselamatan penerbangan. Namun, desain awalnya yang hanya menggunakan satu sensor AoA menyebabkan masalah ketika sensor tersebut memberikan data yang salah. Hal ini menyebabkan dua kecelakaan fatal: Lion Air JT610 dan Ethiopian Airlines ET302, yang mengungkap kelemahan dalam desain sistem. [4]

MCAS memungkinkan Boeing 737 MAX memiliki karakteristik manuver yang lebih serupa dengan generasi sebelumnya, meskipun adanya perubahan desain. Ini penting untuk mengurangi kebutuhan pelatihan tambahan bagi pilot yang sudah berpengalaman dengan model sebelumnya, sehingga dapat menghemat biaya pelatihan. [3] Dampak dari masalah MCAS pada Boeing 737 MAX menyebabkan *grounded global* pesawat tersebut dan peninjauan ulang dari regulator penerbangan di seluruh dunia. Hal ini menyoroti pentingnya desain yang matang dan pengujian yang mendalam dalam pengembangan sistem kritis penerbangan. Proses sertifikasi ulang yang ketat harus dilakukan untuk memastikan bahwa sistem telah memenuhi semua standar keselamatan yang diperlukan.

Proses sertifikasi MCAS oleh FAA dianggap tidak memadai, dengan adanya klaim bahwa FAA terlalu bergantung pada evaluasi dan penilaian dari Boeing sendiri. Pada kedua kecelakaan, MCAS menerima data *Angle of Attack* (AoA) yang salah dari satu sensor yang tidak berfungsi dengan baik. MCAS tidak memiliki kemampuan untuk memvalidasi data dari kedua sensor AoA. Data yang salah menyebabkan sistem terus menerus mengintervensi,

sehingga MCAS mendeteksi sudut serang yang tinggi secara keliru dan menurunkan hidung pesawat secara otomatis untuk mencegah stall yang sebenarnya tidak terjadi. Akibatnya, MCAS aktif berulang kali, memaksa hidung pesawat turun dan menyebabkan pilot berjuang untuk mengendalikan pesawat. Pilot kesulitan karena MCAS terus-menerus menurunkan hidung pesawat meskipun pilot berusaha mengangkatnya kembali, dan kurangnya pelatihan yang memadai mengenai MCAS membuat pilot tidak sepenuhnya memahami cara menonaktifkan atau menangani aktivasi yang tidak diinginkan. Dalam kasus Lion Air Penerbangan 610, MCAS diaktifkan sebanyak 24 kali selama penerbangan, sedangkan dalam kasus Ethiopian Airlines Penerbangan 302, MCAS diaktifkan beberapa kali dalam waktu singkat sebelum kecelakaan.[4]

Pilot memiliki waktu yang sangat terbatas untuk menyadari bahwa MCAS aktif dan mengambil tindakan untuk menonaktifkannya. Berdasarkan simulasi dan laporan investigasi, waktu yang diberikan kepada pilot untuk menyadari dan menonaktifkan MCAS sebelum situasi menjadi tidak terkendali sangatlah singkat, berkisar antara 10 hingga 20 detik waktu respon maksimal.[5] Faktor-faktor yang berkontribusi pada kegagalan MCAS termasuk desain sistem yang tidak dilengkapi dengan mekanisme yang mampu untuk memvalidasi data sensor AoA. Selain itu, sistem tidak didesain untuk memberikan indikasi yang jelas kepada pilot bahwa MCAS aktif, sehingga membingungkan pilot.

Pelatihan pilot juga menjadi faktor penting. Pilot tidak diberikan informasi yang memadai mengenai keberadaan dan cara kerja MCAS dalam pelatihan. Manual operasi dan prosedur darurat tidak menjelaskan secara rinci bagaimana mengatasi aktivasi MCAS yang tidak terduga. Indikasi kokpit juga bermasalah karena tidak memberikan peringatan yang memadai ketika MCAS aktif. Prosedur untuk menonaktifkan MCAS tidak jelas dan tidak didemonstrasikan dalam simulator penerbangan. Menurut hasil investigasi dan simulasi, tanpa perbaikan yang dilakukan pada sistem MCAS, ada potensi besar bahwa lebih banyak kecelakaan bisa terjadi di masa mendatang. Meskipun memperkirakan jumlah spesifik dari kecelakaan yang mungkin terjadi sangatlah kompleks dan bergantung pada berbagai faktor, termasuk frekuensi penggunaan pesawat, kondisi penerbangan, dan respons pilot terhadap situasi darurat, analisis risiko dan prediksi kecelakaan menunjukkan bahwa frekuensi aktivasi MCAS yang tidak diharapkan dan jumlah penerbangan harian 737 MAX yang tinggi meningkatkan kemungkinan kegagalan yang sama. Pilot yang tidak terlatih atau tidak sadar akan keberadaan dan cara kerja MCAS memiliki kemungkinan besar untuk tidak merespons dengan tepat dalam waktu yang sangat terbatas (10-20 detik) untuk menonaktifkan MCAS. Ini meningkatkan risiko kegagalan berulang.[5]

Menurut laporan dari JATR (*Joint Authorities Technical Review*) yang dilakukan oleh FAA dan badan penerbangan internasional lainnya, dinyatakan bahwa jika tidak ada perubahan yang dilakukan pada MCAS, risiko kegagalan sistem sangatlah tinggi. Berdasarkan data dari investigasi Lion Air dan Ethiopian Airlines, serta simulasi penerbangan lainnya, diperkirakan bahwa dalam jangka waktu yang sama (beberapa bulan hingga satu tahun) setelah dua kecelakaan awal, beberapa insiden serupa bisa saja terjadi jika pesawat tidak di-*grounded* dan sistem tidak diperbaiki. Meskipun angka pastinya sulit diprediksi, simulasi dan model risiko yang dilakukan oleh berbagai badan keselamatan penerbangan menunjukkan bahwa tanpa intervensi dan perbaikan, kecelakaan tambahan dengan pola yang sama hampir pasti terjadi. Beberapa analisis bahkan memperkirakan bahwa dalam satu tahun operasi penuh, setidaknya beberapa kecelakaan besar bisa terjadi dengan total korban jiwa yang serupa dengan dua kecelakaan yang sudah terjadi.[6]

### **3.2 Studi Kasus**

Salah satu pola yang ditemukan adalah aktivasi berulang dari MCAS, yang mengaktifkan trim stabilizer secara

terus-menerus berdasarkan data AoA yang salah. MCAS mendeteksi sudut serang yang tinggi secara keliru dan menurunkan hidung pesawat secara otomatis untuk mencegah *stall* yang sebenarnya tidak terjadi. Meskipun pilot berulang kali berusaha melawan sistem otomatis dengan mengangkat hidung pesawat secara manual, setiap kali pilot mencoba mengendalikan pesawat secara manual, MCAS tetap mengarahkan hidung pesawat ke bawah.

Kegagalan sistem sensor menjadi penyebab utama lainnya, di mana input dari satu sensor AoA yang salah memicu MCAS untuk mengaktifkan trim stabilizer yang tidak semestinya aktif, menambah kerumitan situasi yang dihadapi oleh pilot. Penyebab utama kegagalan ini adalah desain sistem yang kurang andal, di mana ketergantungan pada satu sensor AoA tanpa backup membuat sistem rentan terhadap kegagalan tunggal. Selain itu, pelatihan pilot yang tidak memadai juga berkontribusi besar, karena pilot tidak diberi pelatihan yang cukup tentang bagaimana MCAS bekerja dan bagaimana cara mematikan sistem jika terjadi kegagalan. Ditambah lagi, MCAS tidak terintegrasi dengan baik dengan sistem kontrol lainnya, yang menyebabkan kesulitan bagi pilot untuk melakukan *manual override* ketika diperlukan. Kombinasi dari faktor-faktor ini mengakibatkan situasi di mana pilot tidak mampu mengendalikan pesawat secara efektif saat MCAS aktif berdasarkan data yang salah.[7]

Investigasi lebih lanjut dari Komite Transportasi dan Infrastruktur DPR AS menemukan bahwa Boeing sudah menyadari sejak awal bahwa pilot mungkin tidak akan mampu dengan cepat mendiagnosis malfungsi yang dipicu oleh MCAS, tetapi mereka tidak memodifikasi desain pesawat atau pelatihan pilot untuk mengatasi masalah tersebut. Laporan ini juga menunjukkan bahwa FAA baru menyadari masalah ini beberapa minggu setelah kecelakaan pertama, tetapi tidak mengambil tindakan yang diperlukan. Lebih dari itu, beberapa karyawan Boeing tidak menginformasikan kepada FAA mengenai hasil awal dari sesi simulasi yang menunjukkan bahwa pilot memerlukan waktu lebih dari 10 detik untuk merespons aktivasi MCAS yang tidak diinginkan, yang dalam istilah sertifikasi dianggap sebagai kondisi "katastrofik".[8]

### **3.3 Evaluasi Desain Sistem**

MCAS diintegrasikan dalam sistem kontrol penerbangan Boeing 737 MAX untuk menangani karakteristik penerbangan pada sudut serang tinggi. Spesifikasi teknisnya meliputi sensor AoA, trim stabilizer, dan perangkat lunak yang mengontrol aktivasi sistem berdasarkan input sensor. MCAS dirancang untuk bekerja secara otomatis tanpa intervensi pilot dalam kondisi tertentu. Namun, masalah utama muncul dari desain yang bergantung pada satu sensor AoA. Jika sensor tersebut memberikan data yang salah, MCAS akan mengaktifkan trim stabilizer secara berulang kali, menyebabkan pesawat menukik tanpa alasan yang valid.

Ketergantungan pada satu sensor merupakan kelemahan signifikan karena sistem ini seharusnya dirancang dengan kemampuan sensor untuk mencegah kegagalan tunggal. Selain itu, MCAS tidak berintegrasi dengan baik dengan sistem kontrol manual pesawat, sehingga menyulitkan pilot untuk mengambil alih kontrol dalam situasi darurat. Lebih lanjut, pilot tidak diberikan prosedur yang jelas dan pelatihan yang cukup untuk mematikan MCAS saat terjadi kegagalan sistem.

### **Rekomendasi untuk Peningkatan Desain Teknis [9]**

1. Penambahan Sensor AoA Kedua: Menambah sensor AoA kedua untuk memastikan data yang lebih akurat dan memungkinkan sistem MCAS membandingkan data dari dua sumber sebelum mengambil tindakan.
2. Implementasi Algoritma Verifikasi: Menerapkan algoritma verifikasi untuk membandingkan input dari kedua sensor AoA dan hanya mengaktifkan MCAS jika kedua sensor memberikan data yang konsisten. Sistem harus

menonaktifkan MCAS dan memberi tahu pilot jika terjadi perbedaan yang signifikan.

3. Batas Pengendalian MCAS: Membatasi jumlah input trim stabilizer yang dapat dilakukan oleh MCAS dalam satu siklus dan menambahkan jeda sebelum sistem dapat memberikan input tambahan, memberikan waktu bagi pilot untuk merespons.

4. Penambahan Indikator Visual dan Audio: Menambah indikator visual dan audio yang jelas di kokpit untuk memberi tahu pilot tentang kegagalan MCAS atau perbedaan sensor AoA.

5. Revisi Perangkat Lunak MCAS: Merevisi perangkat lunak MCAS untuk mengurangi agresivitas koreksi otomatis dan memastikan bahwa pilot selalu memiliki kemampuan untuk menonaktifkan sistem secara manual dengan cepat.



Gambar 6: Sakelar *Stabilizer Trim* yang dapat menonaktifkan MCAS

#### Rekomendasi untuk Perbaikan Prosedur Penerbangan dan Pelatihan Pilot [9]

1. Pelatihan Simulator yang Mendalam: Memberikan pelatihan simulator yang mendalam bagi semua pilot 737 MAX mengenai MCAS, termasuk skenario kegagalan dan prosedur penanganannya, serta pelatihan berkala untuk memastikan pilot selalu up-to-date dengan prosedur terbaru.

2. Revisi Prosedur Operasional Standar (SOP): Merevisi SOP untuk memasukkan langkah-langkah khusus dalam menghadapi aktivasi yang tidak diinginkan dari MCAS, termasuk langkah-langkah untuk menonaktifkan sistem, dan memastikan bahwa checklist kegagalan sistem mencakup instruksi yang jelas dan ringkas mengenai langkah-langkah untuk menangani masalah MCAS.

3. Pembaruan Manual Operasi Pesawat: Memperbarui manual operasi pesawat untuk menyertakan informasi detail tentang MCAS, fungsinya, dan prosedur darurat yang terkait, serta memastikan dokumentasi teknis yang diberikan kepada maskapai mencakup semua perubahan pada desain dan logika MCAS, serta implikasinya terhadap operasi pesawat.

## 4 Kesimpulan

Kesimpulan dari analisa dan pembahasan mengenai kegagalan system MCAS yang melibatkan pesawat Boeing 737 MAX 8, menunjukkan bahwa penyebab utama adalah kegagalan sistem MCAS (Maneuvering Characteristics Augmentation System) yang diaktifkan berdasarkan data sensor *Angle of Attack* (AoA) yang salah. Boeing berusaha melakukan upgrade tanpa melakukan perubahan signifikan pada desain pesawat, yang mengakibatkan penempatan mesin baru di posisi yang tidak optimal dan memerlukan penggunaan MCAS untuk menjaga karakteristik penerbangan.

MCAS didesain untuk menangani kondisi *angle of attack* yang tinggi, namun ketergantungan pada satu sensor AoA dan kurangnya pelatihan yang memadai bagi pilot menyebabkan ketidakmampuan dalam menangani aktivasi yang tidak diinginkan dari sistem ini. Keputusan Boeing untuk tidak mengungkapkan keberadaan MCAS dalam pelatihan awal menambah kebingungan saat sistem ini gagal.

Peristiwa ini menggarisbawahi pentingnya integrasi yang matang antara desain teknis dan prosedur operasional,

termasuk pelatihan pilot yang memadai. Rekomendasi yang dihasilkan dari investigasi kecelakaan ini menekankan perlunya peningkatan pada desain teknis MCAS, termasuk penambahan sensor AoA kedua, algoritma verifikasi yang lebih baik, dan indikator visual serta audio di kokpit. Selain itu, prosedur penerbangan dan pelatihan pilot harus diperbaiki untuk memastikan pilot dapat memahami dan menangani situasi darurat yang melibatkan MCAS dengan lebih baik.

Secara keseluruhan, peristiwa ini menyoroti kelemahan dalam desain pesawat yang tergesa-gesa serta perlunya transparansi dan pelatihan yang menyeluruh untuk memastikan keselamatan penerbangan. Pembaruan desain dan prosedur diharapkan dapat mencegah terulangnya tragedi serupa di masa depan.

## 5 Daftar Pustaka

- [1] Sean Broderick, Guy Norris, Graham Warwick, (2019, 20 Maret). The Boeing 737 MAX Explained, dari: <https://aviationweek.com/aerospace/boeing-737-max-mcas-explained>
- [2] Federal Aviation Administration (FAA). (2019, 20 Maret). *Statement on Continued Airworthiness Notification to the International Community*, Dari: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-08/CAN-2019-05.pdf>
- [3] NTSB, (2019, 26 September) *NTSB Issues 7 Safety Recommendations to FAA related to Ongoing Lion Air, Ethiopian Airlines Crash Investigations*, dari: <https://www.nts.gov/news/press-releases/Pages/NR20190926.aspx>
- [4] Clement Charpentreau, (2019, 25 Oktober) *Lion Air crash report points to Boeing, FAA and airline flaws*, dari: <https://www.aerotime.aero/articles/24120-lion-air-crash-report-points-to-boeing-faa-and-airline-flaws>
- [5] Jennifer Kuczynski, Chaojie Wang, Marie Glass, Fred Hoffman, (2021) *Boeing 737 MAX: A case study of failure in a supply chain using system of systems framework*, dari: [https://www.iacis.org/iis/2021/1\\_iis\\_2021\\_51-62.pdf](https://www.iacis.org/iis/2021/1_iis_2021_51-62.pdf)
- [6] Christopher A. Hart, Team Chair, (2019, 16 Oktober) *JATR Report On 737 MAX Finds Fault With FAA*, dari: <https://www.aero-news.net/index.cfm?do=main.textpost&id=98D8062E-B010-4A17-B089-3E20A530CD0C>
- [7] Sean Broderick, (2020, 16 September) *Boeing Aware of Pilot-Response Issues During MAX Certification*, dari: <https://aviationweek.com/air-transport/aircraft-propulsion/boeing-aware-pilot-response-issues-during-max-certification>
- [8] NTSB, (2023, 24 Januari) *NTSB Publishes Additional Comments on Ethiopia's Final Report on 737 MAX 8 Accident*, dari: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/>
- [9] Jason Borenstein & Keith Miller, (2020, 10 Juli) *The Boeing 737 MAX: Lessons for Engineering Ethics*, dari: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-020-00252-y>