

ANALISIS CACAT PERMUKAAN LOGAM FUSELAGE SKIN BOEING 737-9 MENGUNAKAN PROBE FREQUENCY OF EDDY CURRENT 10.000 – 500.000 Hz

¹Noviana Utami, ²Redi Yonathan

^{1,2} Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan

Abstrak

Kelaikudaraan atau *airworthiness* pada pesawat udara salah satunya dinyatakan dengan pemenuhan persyaratan pengujian komponen dan sistem. *Non Destructive Testing (NDT) – Eddy Current* merupakan salah satu pengujian umum yang dapat diaplikasikan pada komponen pesawat udara. Penelitian ini mempelajari analisis cacat permukaan logam fuselage skin Boeing 737-9 pada bagian *Emergency Window* menggunakan probe frequency of Eddy Current 10.000 – 500.000 Hz. Cacat permukaan logam uji menggunakan probe frequency of Eddy Current didekati dengan nilai *depth of penetrants*. Distribusi normal untuk data *depth of penetrants* permukaan logam fuselage skin Boeing 737-9 berbasis Al 2024-T3 memenuhi 99,7% dari pengamatan berada dalam 3 standar deviasi rata-rata ke arah kanan dan kiri. Nilai *depth penetrant* stabil pada nilai 0,200 mm, yaitu saat probe frequency of Eddy current 22.000 – 500.000 Hz. Semakin tinggi probe frequency maka nilai *depth of penetrant* semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi probe frequency of Eddy Current maka resolusi keberhasilan dalam mendeteksi cacat dan retak permukaan logam semakin maksimum dan mempunyai sensitivitas yang tinggi.

Kata kunci: Cacat, Pesawat Udara, Arus Eddy.

Abstract

Airworthiness of an aircraft is expressed by fulfilling the requirements for component and system testing. Non Destructive Testing (NDT) – Eddy Current is one of the general tests that can be applied to aircraft components. This research studies the analysis of defects on the metal surface of the Boeing 737-9 fuselage skin on emergency window section using a probe frequency of Eddy Current 10,000 – 500,000 Hz. The surface defects of the test metal using the frequency of Eddy Current probe are approached with the depth of penetrants. The normal distribution for depth of penetrants data on the metal surface of the fuselage skin of the Boeing 737-9 based on Al 2024-T3 meets 99.7% of the observations to be within 3 standard deviations on the average to the right and left. The penetrant depth value is stable at a value of 0.200 mm, that is, when the probe frequency of Eddy current is 22,000 – 500,000 Hz. The higher of the probe frequency, the smaller the depth of penetrant. This is because of the higher of the probe frequency of Eddy Current, the higher the resolution of success in detecting defects and cracks on the metal surface and has a high sensitivity.


Keywords: defect, airplane, Eddy currents.

Pendahuluan

Pesawat udara dapat dinyatakan kelaikudaraan (*airworthiness*) jika telah memenuhi persyaratan: 1). Desain, 2). Konstruksi, 3). Pengujian komponen dan sistem, 4). Jadwal uji terbang dan uji mesin, 5). Uji program untuk kasus khusus (pesawat, sistem, dan komponen), dan 6). Prosedur pemeliharaan kelaikudaraan yang berkelanjutan, 7). *Airworthiness Directives (AD)*, dan 8). Operasional (AC 147 - 02, 2017). Pengujian komponen pesawat udara menggunakan *Non Destructive Testing (NDT)*, berupa: 1). *Visual Inspection*, 2). *Radiographic Inspection*, 3). *Magnetic Particle Inspection*, 4). *Ultrasonic Inspection*, 5). *Dye Penetrant Inspection*, dan 6). *Eddy Current Inspection* (AC 43 - 3, 2008). Penelitian ini mempelajari analisis cacat permukaan logam fuselage skin Boeing 737-9 berbasis Aluminium 2024-T3 (Al 2024-T3) pada bagian *Emergency Window* menggunakan probe frequency of Eddy currents 10.000 sampai dengan 500.000 Hz. Cacat permukaan logam uji menggunakan probe frequency of Eddy Current didekati dengan nilai *depth of penetrant*. Matthews *et al.*, (2018), menjelaskan cacat permukaan logam berupa retakan disebabkan degradasi lingkungan dan tekanan saat beroperasi maka logam mengalami kelelahan.

¹Email Address: noviana.utami@sttkd.ac.id

Received 3 Juni 2023, Available Online 30 Juli 2023

 <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i1.975>

Penelitian yang mempelajari arus *Eddy* pada berbagai bidang telah dilakukan, beberapa diantaranya J. Yuan *et al.*, (2022), mempelajari perangkat pemanas magnet permanen menggunakan arus *Eddy* bertenaga angin, yang mengubah kelebihan energi angin menjadi pemanas dan menyimpan panas sehingga fungsi menyimpan energi panas tercapai. Energi panas dapat langsung disuplai ke pengguna dan sebagai pembangkit listrik energi panas pada saat catu daya tidak mencukupi untuk mengurangi kekurangan energi dan mengurangi konsumsi angin dalam jumlah besar. Penelitian ini menetapkan model perangkat pemanas magnet permanen menggunakan arus *Eddy*, mensimulasikan, dan menganalisis untuk meningkatkan daya pemanas dan pemanfaatan material dengan fokus pada pengaruh jenis alur stator, jumlah slot stator dan ketebalan stator daya pemanas. Hasil simulasi analisis perangkat pemanas magnet permanen menggunakan arus *Eddy* sebelum dan sesudah optimasi dipelajari menggunakan MATLAB dan hasil penelitian membuktikan efektivitas optimasi terpenuhi. Y. Han *et al.*, (2022), pemodelan dan simulasi pipa menggunakan modul Maxwell di ANSYS untuk mengidentifikasi cacat di bawah *lift-off* sebagai indikator penting untuk mengidentifikasi titik menggunakan teknologi arus *Eddy* pada sektor tenaga nuklir. Koil deteksi vertical dirancang untuk mensimulasikan kemampuan mendeteksi titik menggunakan arus *Eddy* pada cacat dasar dibawah *lift-off*. B. Niu *et al.*, (2022), merancang perangkat pengereman tambahan kendaraan tipe baru menggunakan retarder magnet permanen arus *Eddy*. Penelitian ini mempelajari analisis gabungan lapisan linier dan *non-dominated sorting genetic algorithm-II* (NSGA-II) untuk mengoptimalkan parameter retarder magnet permanen arus *Eddy*. Kinerja retarder magnet permanen arus *Eddy* setelah optimalisasi parameter struktural kemudian diverifikasi keakuratan dan kelayakan menggunakan perangkat ANSYS. Hasil penelitian menunjukkan algoritma NSGA-II berdasarkan model analisis lapisan mempunyai hasil komputasi yang lebih baik dalam desain parameter struktur dibandingkan dengan algoritma genetika standar.

Q. Ma *et al.*, (2022), *Lift-off* sebagai masalah yang menantang dalam pengujian dan evaluasi non-destruktif elektromagnetik dalam pengujian arus *Eddy*, yaitu sangat mempengaruhi sensitivitas deteksi dan akurasi kuantitas. Penelitian ini mengusulkan pengkondisian sinyal gabungan struktur arus *Eddy* diferensial berdasarkan jembatan trafo untuk menekan *lift-off*. Model ini sangat memungkinkan untuk mengurangi ambiguitas *lift-off* dari sinyal campuran yang disebabkan karena parameter *lift-off* dapat dihilangkan dan informasi cacat dapat ditingkatkan. A. Faria *et al.*, (2022), mempelajari alat sumber terbuka untuk perhitungan induktansi kumparan planar yang cepat dan tepat dihadapan target konduktif menggunakan persamaan Grover. Kinerja alat ini divalidasi dengan cara membandingkan dengan data eksperimen dan simulasi Model Elemen Hingga (FEM) yang menunjukkan keefektifan pendekatan usulan perhitungan analitik induktansi kumparan planar dengan pelat konduktif. N. Utami dan R. Yonathan, (2019), semakin besar frekuensi probe (Hz), maka nilai *depth of penetrations* (mm) akan semakin menurun dan semakin lama menuju ke titik stabil. Hal ini disebabkan karena semakin besar frekuensi probe arus *Eddy*, maka kerapatan medan magnet arus *Eddy* yang bergerak menuju ke medan magnet logam semakin besar, sehingga frekuensi berubah menjadi gaya hambat bagi arus *Eddy* ke medan magnet material logam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berperan dalam pengembangan ilmu *airworthiness* pesawat udara.

Tinjauan Pustaka dan Pengembangan Hipotesis

Boeing 737-9

Boeing 737 Max (**Gambar 1.**) terbagi menjadi 4 seri yaitu 737-7, 737-8, 737-9, dan 737-10 dimana Boeing 737 Max menawarkan peningkatan efisiensi, kinerja lingkungan, dan kenyamanan penumpang (<https://www.boeing.com/commercial/737max/#>).



Gambar 1. Boeing 737 Max
(<https://www.boeing.com/commercial/737-10/index.page>)

Technical Specs Boeing Max 737-9 tersaji pada **Tabel 1.** sebagai berikut.

Tabel 1. Technical Specs dari Boeing Max Seri 737-9

<i>Technical Specs</i>	<i>Data</i>
<i>Seats (2 class)</i>	178 – 193
<i>Maximum seats</i>	220
<i>Range nm (km)</i>	3.300 (6.110)
<i>Length</i>	42,16 m (138 ft 4 in)
<i>Wingspan</i>	35,9 m (177 ft 10 in)
<i>Engine</i>	LEAP-1B from CFM <i>International</i>

Sumber: <https://www.boeing.com/commercial/737max/#>

Eddy Current

Inspeksi menggunakan arus *Eddy* digunakan untuk mendeteksi retakan dipermukaan logam atau didekat permukaan logam dan memisahkan antara logam atau paduan dan pada saat logam dikenai perlakuan panas. Pengujian ini dapat diterapkan pada bagian atau rakitan pesawat yang dihubungkan dengan probe arus *Eddy*. Pengujian arus *Eddy* representatif digunakan untuk 1). *Landing gear wheel tire bead seat area*, 2). Lubang pengikat pada seluruh struktur utama pesawat, 3). *Turbine engine compressor disc*, 4). *Fuselage skin*, 5). *Main landing gear*, dan 6). *Horizontal stabilizer*. Pemeriksaan dilakukan dengan cara menginduksi arus *Eddy* ke dalam bagian logam dan pada bagian elektronik akan mengamati semua variasi medan magnet yang diinduksi. Karakter perubahan medan magnet yang diamati kemudian diinterpretasikan menjadi penentu adanya kondisi cacat. Peralatan pengujian arus *Eddy* terdiri dari probe dan peralatan elektronik. Probe terdiri dari koil yang digunakan untuk menginduksi arus listrik ke bagian yang diuji. Peralatan elektronik terdiri dari sirkuit untuk mengukur variasi aliran arus listrik dan merekam perubahan pada meteran atau tabung sinar katoda atau kombinasi keduanya (AC 43-3, 2001).

Kelebihan dari metode pengujian menggunakan arus *Eddy*, yaitu 1). Berbentuk portabel, 2). Biaya pengujian sedang, 3). Hasil media, 4). Sensitif terhadap kecilnya indikasi, dan 5). Memerlukan persiapan yang sedikit. Selain itu, kelemahan metode pengujian ini, yaitu 1). Memerlukan pemeriksaan permukaan, 2). Permukaan yang akan diperiksa harus dapat diakses oleh probe arus *Eddy*, 3). Permukaan yang kasar dapat mengganggu sensitivitas uji, 4). Hanya cocok untuk pemeriksaan logam saja, 5). Tidak ada catatan pengujian permanen, 6). Diperlukan ketrampilan yang cukup dan terbiasa dalam menangani peralatan ini, dan 7). Memerlukan waktu untuk memindai area permukaan yang luas (AC 43-3, 2001). Keberhasilan dalam mendeteksi pecah dan retak permukaan logam memerlukan: 1) pengetahuan mengenai jenis cacat, posisi, dan orientasi, 2).

Pemilihan probe yang tepat dan 3). Pemilihan frekuensi probe arus *Eddy* yang wajar (<https://www.nde-ed.org/NDETechniques/EddyCurrent/Applications/breakingcracks.xhtml>).

Sample Standard Deviation

Menurut R. Peck *et al.*, (2008) *Sample Standard Deviation* (s) merupakan akar kuadrat positif dari variasi sampel dan dilambangkan dengan s yang ditunjukkan dalam **Persamaan (1), (2), dan (3)** berikut ini:

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots (1)$$

$$s^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)} = \frac{S_{xx}}{n-1} \dots\dots\dots (2)$$

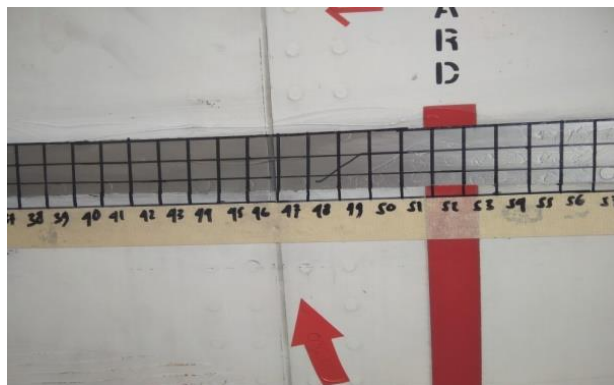
$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- x : variabel data pengamatan
- x_1 : data pengamatan pertama
- x_2 : data pengamatan kedua
- x_n : data pengamatan ke-n (terakhir)
- \bar{x} : rata-rata data pengamatan (jumlah seluruh pengamatan dibagi dengan jumlah data pengamatan)
- n : jumlah data pengamatan
- $(x - \bar{x})$: deviasi
- $(x - \bar{x})^2$: deviasi kuadrat

Metode Penelitian

Metode penelitian ini mempelajari analisis cacat permukaan logam *fuselage skin Boeing 737-9* menggunakan *probe frequency of Eddy Current* 10.000 sampai dengan 500.000 Hz. Alat dalam penelitian ini, meliputi: *Olympus Nortech 600 Eddy Current, Probe Eddy Current 300 – 10.000 Hz, Probe Eddy Current 500.000 Hz, dan Eddy Current Standard Calibration*. Sedang bahan dalam penelitian ini, berupa *fuselage skin Boeing 737-9* berbasis Aluminium 2024-T3 (Al 2024-T3) pada bagian *Emergency Window (Gambar 2.)* Analisis data dalam penelitian ini menggunakan *sample standard deviation* dan distribusi normal.



Gambar 2. Fuselage Skin Boeing 737-9 Pada Bagian Emergency Window

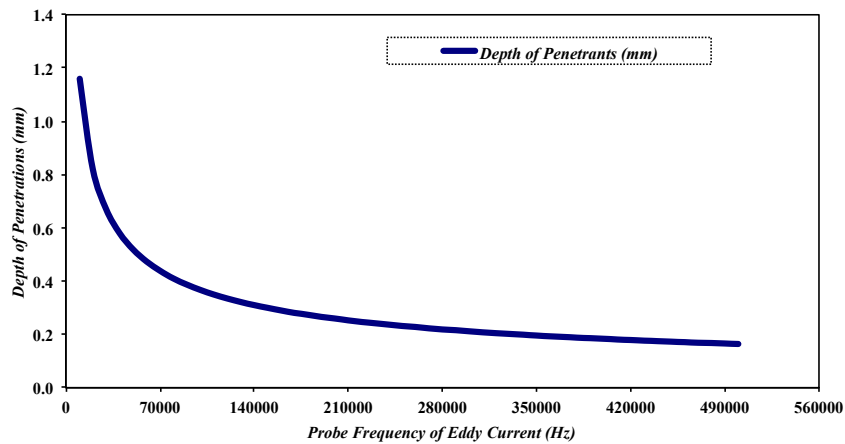
Hasil dan Pembahasan

Data *depth of penetrants* permukaan logam *fuselage skin Boeing 737-9* berbasis Al 2024-T3 terhadap *probe frequency of Eddy current* beserta deviasi tersaji pada **Tabel 2.** berikut ini.

Tabel 2. Data Depth of Penetrants Permukaan Logam Fuselage Skin Boeing 737-9 Berbasis Al 2024-T3 Terhadap Probe Frequency of Eddy Current 10.000 – 500.000 Hz

No.	Probe Frequency of Eddy Current (Hz)	Depth of Penetrants (mm)	Deviation	Squared Deviation	No.	Probe Frequency of Eddy Current (Hz)	Depth of Penetrants (mm)	Deviation	Squared Deviation
1.	10.000	1,161	0,888	0,789	26.	260.000	0,228	-0,045	0,002
2.	20.000	0,821	0,548	0,301	27.	270.000	0,223	-0,050	0,002
3.	30.000	0,670	0,397	0,158	28.	280.000	0,219	-0,054	0,003
4.	40.000	0,580	0,307	0,094	29.	290.000	0,216	-0,057	0,003
5.	50.000	0,519	0,246	0,061	30.	300.000	0,212	-0,061	0,004
6.	60.000	0,474	0,201	0,040	31.	310.000	0,208	-0,065	0,004
7.	70.000	0,439	0,166	0,028	32.	320.000	0,205	-0,068	0,005
8.	80.000	0,410	0,137	0,019	33.	330.000	0,202	-0,071	0,005
9.	90.000	0,387	0,114	0,013	34.	340.000	0,199	-0,074	0,005
10.	100.000	0,367	0,094	0,009	35.	350.000	0,196	-0,077	0,006
11.	110.000	0,350	0,077	0,006	36.	360.000	0,193	-0,080	0,006
12.	120.000	0,335	0,062	0,004	37.	370.000	0,191	-0,082	0,007
13.	130.000	0,322	0,049	0,002	38.	380.000	0,188	-0,085	0,007
14.	140.000	0,310	0,037	0,001	39.	390.000	0,186	-0,087	0,008
15.	150.000	0,300	0,027	0,001	40.	400.000	0,184	-0,089	0,008
16.	160.000	0,290	0,017	0,000	41.	410.000	0,181	-0,092	0,008
17.	170.000	0,281	0,008	0,000	42.	420.000	0,179	-0,094	0,009
18.	180.000	0,274	0,001	0,000	43.	430.000	0,177	-0,096	0,009
19.	190.000	0,266	-0,007	0,000	44.	440.000	0,175	-0,098	0,010
20.	200.000	0,260	-0,013	0,000	45.	450.000	0,173	-0,100	0,010
21.	210.000	0,253	-0,020	0,000	46.	460.000	0,171	-0,102	0,010
22.	220.000	0,247	-0,026	0,001	47.	470.000	0,169	-0,104	0,011
23.	230.000	0,242	-0,031	0,001	48.	480.000	0,168	-0,105	0,011
24.	240.000	0,237	-0,036	0,001	49.	490.000	0,166	-0,107	0,011
25.	250.000	0,232	-0,041	0,002	50.	500.000	0,164	-0,109	0,012
Total		14,800			Total		1,707		
Sample Mean		0,273							
Sample Median		0,230							
Sample Modus		0,200							
Maximum		1,161							
Minimum		0,164							

Tabel 2. tersaji data *depth of penetrants* permukaan logam *fuselage skin Boeing 737-9* berbasis Al 2024-T3 dengan variasi *probe frequency of Eddy current* dalam rentang 10.000 sampai dengan 500.000 Hz menunjukkan nilai rata-rata (*sample mean*) 0,273 mm; *sample median* 0,230 mm; *sample modus* 0,200 mm; nilai maksimum 1,161 mm; dan nilai minimum 0,164 mm. Selain itu, **Tabel 2.** juga menyajikan data *deviation* $(x - \bar{x})$ dan *square deviation* $(x - \bar{x})^2$ *depth of penetrants* permukaan logam *fuselage skin Boeing 737-9* berbasis Al 2024-T3 dengan nilai standar deviasi per sampel (*sample standard deviation*) sebesar 0,187. Dimana menurut *Empirical Rule*, distribusi normal data *depth of penetrant* memenuhi 99,7% dari pengamatan berada dalam 3 standar deviasi rata-rata ke arah kanan dan kiri (R. Peck, *et al.*, 2008). **Tabel 2.** kemudian disajikan dalam bentuk kurva hubungan antara *depth of penetrant* permukaan logam *fuselage skin Boeing 737-9* berbasis Al 2024-T3 (mm) terhadap *probe frequency of eddy current* (**Gambar 3**).



Gambar 3. Kurva Hubungan Antara *Depth of Penetrants (mm)* Permukaan Logam *Fuselage Skin Boeing 737-9* Berbasis Al 2024 –T3 Terhadap *Probe Frequency of Eddy Current (Hz)*

Gambar 3. di atas menunjukkan nilai *depth of penetration* permukaan logam *fuselage skin Boeing 737-9* berbasis Al 2024-T3 stabil pada nilai 0,200 mm dengan *probe frequency of Eddy current* 22.000 sampai dengan 500.000 Hz. Semakin tinggi *probe frequency* maka nilai *depth of penetrant* semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi *probe frequency of Eddy Current* maka resolusi keberhasilan dalam mendeteksi cacat dan retak permukaan logam semakin maksimum dan mempunyai sensitivitas yang tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian N. Utami dan R. Yonathan, (2019) dimana nilai *depth of penetration* permukaan logam *fuselage skin Boeing 737-900* berbasis Al 2024-T3 pada *probe frequency of Eddy Current* 100 sampai 1.000 Hz stabil pada nilai 4 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pada *probe frequency of Eddy Current* dalam mendeteksi pecah dan retakan permukaan logam *fuselage skin* belum maksimal dan sensitivitas tidak tinggi dan penjelasan dalam <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/EddyCurrent/Applications/breakingcracks.xhtml>.

Kesimpulan

Distribusi normal untuk data nilai *depth penetrations fuselage skin Boeing 737-9* berbasis Al 2024-T3 terhadap *probe frequency of Eddy Current* 10.000 sampai dengan 500.000 Hz memenuhi 99,7% dari pengamatan berada dalam 3 standar deviasi rata-rata ke arah kanan dan kiri. Nilai *depth of penetration* stabil pada nilai 0,200 mm saat *probe frequency of Eddy Current* 22.000 sampai dengan 500.000 Hz. Semakin tinggi *probe frequency* maka nilai *depth of penetrant* akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi *probe frequency of Eddy Current* maka resolusi keberhasilan dalam mendeteksi cacat dan retak permukaan logam semakin maksimum dan mempunyai sensitivitas yang tinggi.

Daftar Pustaka

- Advisory Circular (AC 43 - 3), 2001, Nondestructive Testing In Aircraft, Lampiran Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor: SKEP/128/V/2001, Jakarta – Indonesia.
- Advisory Circular (AC 147 - 02), 2017, Basic Certificate Curriculum and Syllabus Development, Lampiran Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor: 269 Tahun 2017, Jakarta – Indonesia.
- A. Faria, L. Marques, L. Vale, C. Ferreira, F. Alves, and J. Cabral, 2022, Analytical Tool for Optimization of Position Sensors Based on Eddy Currents Effect, *Heliyon* **8** (2022) e11920.
- B. Niu, D. Wang, dan P. Pan., 2022, Multi-Objective Optimal Design of Permanent Magnet Eddy Current Retarded Based on NSGA-II Algorithm, 2021 8th International on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2021), 10-12 September 2021, Fukuoka, Japan, *Energy Reports* **8** (2022) 1448 – 1456.

- J. Yuan, N. Liu, W. Zhang, B. Peng., and W. Dong, 2022, Study on The Effect of Changing Stator Sturcture on Wind Permanent Magnet Eddy Current Heating Device, The 5th International Conference on lectrical Engineering and Green Energy, CEEGE 2022, 8-11 June, Berlin, Germany, Energy Reports **8** (2022) 592 – 600.
- Matthews *et al.*, 2018, Methods for Treating Aircraft Structure, United States Patent, **US 10.093.434 B2**. Oct. 9.
- N. Utami dan R. Yonathan, 2019, Tinjauan Frekuensi Eddy Current 100 – 1.000 Hz Terhadap Depth of Penetration Al 2024-T3 Boeing 737-900ER, Seminar Nasional Sains Teknologi dan inovasi Indonesia (SENASTINDO AAU), Vol. **1**, No. 1, 25 September 2019, pp 1-8, ISSN 2685-891.
- Q. Ma, G. Y. Tian, B. Gao, X. Zhao, G. Ru, and H. Li, 2022, Lift-off Suppresion Based on Combination of Bridge and Transformer Signal Conditionings of Eddy Current Testing, NDT and E International **132** (2022) 102724.
- R. Peck, C. Oslon, and J. Devore, 2008, Introduction to Statistic and Data Analysis, 3rd Edition, Thomson, United States.
- Y. Han, Y. Tao, C. Shao, H. Yan. Z. Peng, 2022, Pulsed Eddy Current in Ferromagnetic Pipes With Cladding in Nuclear Power Plants, 2022 International Symposium on New Energy Technology Innovation and Low Carbon Development (NET-LC 2022), Janury 21 to 23, Kunming China, Energy Reports **8** (2022) 104-111.
- <https://www.boeing.com/commercial/737max/#>
- <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/EddyCurrent/Applications/breakingcracks.xhtml>