

**RANCANG BANGUN ALAT PENGUSIR BURUNG
SELECTABLE ACOUSTIC FREQUENCY BERTENAGA SURYA
DENGAN MOTOR ROTASI DI POLITEKNIK
PENERBANGAN SURABAYA**

TUGAS AKHIR

PROGRAM DIPLOMA TIGA TEKNIK PESAWAT UDARA

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menempuh Mata Kuliah Tugas Akhir
pada Program Studi Diploma 3 Teknik Pesawat Udara



Oleh:

LAILA BUNGAS SARWANI
NIT.30423007

**PROGRAM STUDI TEKNIK PESAWAT UDARA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN ALAT PENGUSIR BURUNG *SELECTABLE ACOUSTIC FREQUENCY* BERTENAGA SURYA DENGAN MOTOR ROTASI DI POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA

Oleh:

LAILA BUNGAS SARWANI
NIT.30423007

Disetujui untuk Diujikan pada:
Surabaya, 2026

Pembimbing I : Dr. SUYATMO, ST, S.Pd, MT.
NIP. 19630510 198902 1 001

Pembimbing II : AJENG WULANSARI, ST. MT.
NIP. 19890606 200912 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN ALAT PENGUSIR BURUNG *SELECTABLE ACOUSTIC FREQUENCY* BERTENAGA SURYA DENGAN MOTOR ROTASI DI POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA

Oleh:

LAILA BUNGAS SARWANI

NIT.30423007

Telah dipertahankan dan dinyatakan lulus pada Proyek Akhir
Program Pendidikan Diploma 3 Teknik Pesawat Udara
Politeknik Penerbangan Surabaya
Pada tanggal :

Panitia Penguji:

Ketua : Dr. GUNAWAN SAKTI, ST, MT.
NIP. 19881001 200912 1 003

Sekretaris : Dr. ADE IRFANSYAH, ST, MT.
NIP. 19801125 200212 1 002

Anggota : Dr. SUYATMO, ST, S.Pd, MT.
NIP. 19630510 198902 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
D3 Teknik Pesawat Udara

NYARIS PAMBUDIYATNO, S.SiT., M.MTr.
NIP. 19820525 200502 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Laila Bungas Sarwani
NIT : 30423007
Prodi : D3 Teknik Pesawat Udara IX
Judul : Rancang Bangun Alat Pengusir Burung *Selectable Acoustic Frequency* Bertenaga Surya dengan Motor Rotasi di Politeknik Penerbangan Surabaya

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Proyek akhir ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Politeknik Penerbangan Surabaya maupun di Perguruan Tinggi lain, serta dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan hak bebas royalti non eksklusif (non-exclusive royalty-free right) kepada Politeknik Penerbangan Surabaya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Politeknik Penerbangan Surabaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Proyek Akhir saya dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi dan Akademi Penerbangan.

Surabaya,
Yang membuat pernyataan,

Laila Bungas Sarwani
30423007

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-nya yang telah memberikan pengetahuan, keterampilan, pengalaman yang senantiasa diberikan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan Proyek Akhir yang berjudul “RANCANG BANGUN ALAT PENGUSIR BURUNG *SELECTABLE ACOUSTIC FREQUENCY* BERTENAGA SURYA DENGAN MOTOR ROTASI DI POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA”. Penyusunan Proyek Akhir ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan di Politeknik Penerbangan Surabaya dan memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md).

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada segenap pihak yang telah membantu selama proses penyusunan Proyek Akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Ahmad Bahrawi, S.E., M.T. Selaku Direktur Politeknik Penerbangan Surabaya.
2. Bapak Nyaris Pambudiyatno S.SiT., M.MTr., Selaku ketua Program Studi Teknik Pesawat Udara beserta jajarannya.
3. Bapak Dr. Suyatmo, ST, S.Pd, MT, selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan semangat, ilmu, pengetahuan dukungan moral dalam penyusunan naskah proyek akhir.
4. Ibu Ajeng Wulansari ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
5. Para dosen dan civitas akademi Prodi D3 Teknik Pesawat Udara Politeknik Penerbangan Surabaya.
6. Kedua orang tua tercinta Bapak Husin Nurandriansyah dan Ibu Muspiah yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral dan materiil, serta menjadi sumber kekuatan bagi penulis.
7. Para pengasuh yang senantiasa memberikan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Seluruh rekan-rekan Teknik Pesawat Udara 9, senior, junior, dan motivator atas semangat dan kerjasamanya selama ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga Proyek Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan menjadi kontribusi kecil bagi peningkatan keselamatan penerbangan di Indonesia.

Surabaya, Juli 2026

Penulis

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT PENGUSIR BURUNG *SELECTABLE ACOUSTIC FREQUENCY* BERTENAGA SURYA DENGAN MOTOR ROTASI DI POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA

Oleh:

Laila Bungas Sarwani

NIT.30423007

Bird strike merupakan salah satu ancaman utama terhadap keselamatan penerbangan yang dapat menyebabkan kerusakan struktur pesawat, kegagalan *engine*, gangguan operasional bandara, hingga kerugian ekonomi yang besar. Sebagian besar kejadian *bird strike* terjadi pada fase *take-off* dan *landing* di sekitar area bandara. Berbagai metode pengusiran burung yang telah diterapkan, seperti patroli manual, *pyrotechnics*, dan suara konvensional, masih memiliki keterbatasan karena efektivitasnya dapat menurun akibat terjadinya *habituation* serta cakupan pengusiran yang relatif terbatas. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengusir burung yang mampu menghasilkan variasi frekuensi suara, memiliki distribusi pancaran yang lebih luas, serta dapat beroperasi secara mandiri menggunakan sumber energi terbarukan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *prototype* alat pengusir burung berbasis *selectable acoustic frequency* yang memanfaatkan rangkaian *IC timer* NE555 sebagai pembangkit frekuensi, *selector switch* sebagai pemilih variasi frekuensi suara, *speaker* sebagai pemancar gelombang akustik, motor rotasi untuk memperluas arah pancaran suara, serta sistem tenaga surya sebagai sumber catu daya utama. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)* dengan model pengembangan *ADDIE* yang meliputi tahap *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation*. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengusir burung yang meliputi performa sistem tenaga surya, mekanisme rotasi *speaker*, serta respons perilaku burung terhadap variasi suara yang dihasilkan alat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *prototype* alat pengusir burung berhasil dirancang dan dibangun sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Sistem *selectable acoustic frequency*, tenaga surya, dan mekanisme rotasi *speaker* mampu beroperasi sesuai rancangan. Pengujian terhadap burung emprit dan burung perkutut menunjukkan bahwa alat mampu memberikan respons perilaku berupa peningkatan kewaspadaan, pergerakan, dan perpindahan menjauhi sumber suara. Dengan demikian, *prototype* berpotensi menjadi alternatif teknologi mitigasi *bird strike* yang sederhana, hemat energi, ramah lingkungan, serta menerapkan metode pengusiran burung secara *non-lethal*.

Kata kunci : *Bird strike*, *Selectable Acoustic Frequency*, *Solar Power*, Motor Rotasi, Keselamatan Penerbangan.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SOLAR-POWERED SELECTABLE ACOUSTIC FREQUENCY BIRD DETERRENT WITH A ROTATIONAL MECHANISM IN SURABAYA CIVIL AVIATION POLYTECHNIC

By:

Laila Bungas Sarwani
NIT. 30423007

Bird strike is one of the major threats to aviation safety, potentially causing structural damage to aircraft, engine failure, airport operational disruptions, and significant economic losses. Most bird strike incidents occur during the critical take-off and landing phases within airport environments. Conventional bird deterrent methods, including manual patrols, pyrotechnics, and fixed-frequency acoustic devices, still exhibit several limitations due to bird habituation and limited sound coverage. Therefore, an effective bird deterrent system capable of generating multiple acoustic frequencies, providing wider sound distribution, and operating independently using renewable energy is required.

This study aims to design and develop a bird deterrent prototype based on selectable acoustic frequency. The proposed system employs an NE555 timer IC as the frequency generator, a selector switch for selecting different sound frequencies, a speaker as the acoustic emitter, a rotational motor to expand sound coverage, and a solar-powered electrical system as the primary power source. The research applies the Research and Development (R&D) approach using the ADDIE development model, consisting of the analysis, design, development, implementation, and evaluation stages. Performance testing focuses on evaluating the solar power system, speaker rotation mechanism, and bird behavioral responses to the sound modes generated by the prototype.

*The results showed that the bird repellent prototype was successfully designed and developed according to the predetermined specifications. The selectable acoustic frequency system, solar power supply, and speaker rotation mechanism operated as intended. Testing on Eurasian Tree Sparrows (*Passer montanus*) and Zebra Doves (*Geopelia striata*) demonstrated that the device was able to induce behavioral responses, including increased alertness, movement, and avoidance of the sound source. Therefore, the proposed prototype has the potential to serve as a simple, energy-efficient, environmentally friendly, and non-lethal alternative technology for bird strike mitigation.*

Keywords : *Bird strike, selectable acoustic frequency, solar power, rotational mechanism, flight safety.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN HAK CIPTA	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Sistematika Penulisan Penelitian.....	8
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	10
2.1 Teori Penunjang.....	10
2.1.1 <i>Bird strike</i>	10
2.1.2 Sistem Pengusir Burung Berbasis Akustik (<i>Acoustic Bird Deterrent</i>).....	11
2.1.3 Karakteristik dan Respon Pendengaran Burung	13
2.1.4 Respons Perilaku Burung terhadap Stimulus Akustik	15
2.1.5 <i>Selectable Acoustic Frequency</i>	17
2.1.6 <i>IC Timer NE555</i>	18
2.1.7 <i>Audio Frequency Generator</i>	20
2.1.8 <i>Solar Cell</i> sebagai Sumber Catu Daya Sistem	22
2.1.9 Baterai Lithium-Ion untuk <i>Backup Power</i>	24
2.1.10 Motor Penggerak untuk Rotasi Sistem.....	26
2.2 Kajian Pustaka Dahulu yang Relevan	27
2.2.1 Kerangka Pikiran.....	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 Desain Penelitian.....	35
3.2 Perancangan Alat.....	38
3.2.1 Analisis Alat	38
3.2.2 Desain Alat	42
3.2.3 Cara Kerja Alat.....	45

3.3 Teknik Pengujian.....	48
3.3.1 Pengujian Fungsional <i>prototype</i>	48
3.3.2 Pengujian Operasional <i>prototype</i>	49
3.3.3 Pengujian Respons Perilaku Burung.....	49
3.3.4 Indikator Keberhasilan Pengujian.....	50
3.4 Teknik Analisis Data/Validasi Data.....	51
3.5 Tempat dan Waktu Penelitian.....	53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 Hasil <i>prototype</i>	54
4.1.1 Perakitan Sistem Elektronik.....	54
4.1.2 Perakitan Sistem Mekanik	55
4.1.3 <i>Finishing</i>	59
4.2 Hasil Pengujian	61
4.2.1 Pelaksanaan	61
4.2.2 Hasil Pengamatan Kinerja Sistem.....	63
4.2.3 Hasil Pengamatan Respon Burung.....	70
4.3 Pembahasan.....	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kawanan burung bertabrakan dengan pesawat.....	10
Gambar 2. 2 Burung emprit dan perkutut.....	14
Gambar 2. 3 Pinout IC NE555	19
Gambar 2. 4 Solar cell.....	23
Gambar 2. 5 Motor DC	26
Gambar 2. 6 Alur Kerangka Pikiran.....	32
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	35
Gambar 3. 2 Diagram blok alat	42
Gambar 3. 3 Design 3D sistem	43
Gambar 3. 4 Design 2D sistem	44
Gambar 3. 5 Diagram wiring sistem	44
Gambar 3. 6 Flowchart cara kerja alat	47
Gambar 4. 1 Perakitan komponen elektronik.....	54
Gambar 4. 2 Pemasangan PCB ke box control	55
Gambar 4. 3 Pemasangan solar cell	56
Gambar 4. 4 Baterai untuk backup power.....	57
Gambar 4. 5 Penggabungan komponen inti	57
Gambar 4. 6 perakitan box motor	58
Gambar 4. 7 Hasil akhir prototype.....	60
Gambar 4. 8 Layout pengujian.....	62
Gambar 4. 9 Pengujian di lapangan	63
Gambar 4. 10 Hasil pengukuran mode 1 pada oscilloscope	65
Gambar 4. 11 Hasil pengukuran mode 2 pada oscilloscope	65
Gambar 4. 12 Hasil pengukuran mode 3 pada oscilloscope	66
Gambar 4. 13 Hasil pengukuran tegangan panel surya.....	67
Gambar 4. 14 Hasil pengukuran tegangan motor	69
Gambar 4. 15 Grafik rata-rata pengujian	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pin pada IC NE555.....	20
Tabel 2. 2 Spesifikasi Speaker	22
Tabel 2. 3 Spesifikasi Solar Cell	24
Tabel 2. 4 Spesifikasi Baterai Li-Ion.....	25
Tabel 2. 5 Spesifikasi DC Gear Motor	27
Tabel 2. 6 Penelitian Dahulu yang Relevan	30
Tabel 3. 1 Komponen kebutuhan sistem	41
Tabel 3. 2 Parameter penilaian respon burung	50
Tabel 3. 3 Indikator keberhasilan pengujian	51
Tabel 3. 4 Pengukuran fungsional motor rotasi	52
Tabel 3. 5 Pengukuran fungsional panel surya.....	52
Tabel 3. 6 Indikator keberhasilan operasional sistem	52
Tabel 3. 7 Pengujian respon burung.....	52
Tabel 4. 1 Hasil uji frekuensi keluaran rancangan	64
Tabel 4. 2 Hasil uji kinerja panel surya.....	66
Tabel 4. 3 Beban yang disuplai panel surya.....	67
Tabel 4. 4 Hasil uji motor rotasi.....	69
Tabel 4. 5 Hasil kinerja sistem	70
Tabel 4. 6 Parameter observasi respon burung.....	71
Tabel 4. 7 Pengujian dalam 1 menit.....	72
Tabel 4. 8 Pengujian 2 menit.....	73
Tabel 4. 9 Pengujian 3 menit.....	74

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. N., Khairunaz, M., Desa, M., & Bakar, E. A. (2022). Experimental and numerical studies for parameters identification of direct current motor. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 27(2), 592–600. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v27.i2.pp592-600>
- Aboltins, A., Pikulins, D., Grizans, J., & Tjukovs, S. (2021). Piscivorous bird deterrent device based on a direct digital synthesis of acoustic signals. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 27(6), 42–48. <https://doi.org/10.5755/j02.eie.28977>.
- Abrar, M. M. (2017). Design and implementation of astable multivibrator using 555 timer. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 12(1), 22–29. <https://doi.org/10.9790/1676-1201022229>
- Berzborn, M., & Smithers, M. (2018). An acoustic model of the Tapped Horn loudspeaker. *Proceedings of the 145th AES Convention*.
- Boyacı, E., & Altın, M. (2023). Experimental and numerical approach on bird strike: A review. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 7(2), 95–103. <https://doi.org/10.30939/ijastech.1293572>.
- Chavda, S. K., Gaadhe, S. K., Gojiya, K. M., Bhabhor, R. V., Chavda, J. M., & Gora, A. (2023). Development of wind and solar powered bird repeller. *The Pharma Innovation Journal*, 12(12S), 1830–1840.
- Chen, J., Fei, C., Lin, D., Gao, P., Zhang, J., Quan, Y., Chen, D., Li, D., & Yang, Y. (2022). A review of ultra-high frequency ultrasonic transducers. *Frontiers in Materials*, 8, 733358. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.733358>
- Chen, L., Tong, Y., & Dong, Z. (2020). Li-ion battery performance degradation modeling for the optimal design and energy management of electrified propulsion systems. *Energies*, 13(7), 1629. <https://doi.org/10.3390/en13071629>
- Chen, Q., Xie, J., Yu, Q., Liu, C., & Ding, W. (2024). An experimental study of acoustic bird repellents for reducing bird encroachment in pear orchards. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1365275>
- Chen, Y. C., Chu, J. F., Hsieh, K. W., Lin, T. H., & Chang, P. Z. (2024). Automatic wild bird repellent system that is based on deep-learning-based wild bird detection and integrated with a laser rotation mechanism. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66920-2>
- Devault, T. L., Blackwell, B. F., Belant, J. L., Begier, M. J., & Devault, T. L. (2017). *Wildlife at Airports Wildlife at Airports*.
- Dewi, D. P., Fuada, S., Nugroho, P. T., Kholidatuzzahra, Z., & Afionita, D. (2021). Teaching IC timer through simulation for future STEM teacher. *Journal of Physics: Conference Series*, 1987(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1987/1/012004>
- Diao, W., Kulkarni, C., & Pecht, M. (2021). Development of an informative lithium-ion battery datasheet. *Energies*, 14(17), 5434. <https://doi.org/10.3390/en14175434>
- Dong, Z.-J., Tan, K., Ma, H.-B., Liu, C.-J., Li, N., & Xiao, W. (2025). High-frequency and high-amplitude sounds enhance bird deterrence. *Scientific Reports*, 15, 30945.

- <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13737-2>.
- Dooling, R. J., & Prior, N. H. (2017). Do we hear what birds hear in birdsong? *Animal Behaviour*, 124, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.10.012>
- El-sayed, A. F. (2019). *Bird Strike Management*.
- Fazal, M. R., Amalia, D., Masyirianti, J., Saputra, A. N., Mahendra, Y. A., Ridwan, M. K., Sukahir, S., & Komalasari, Y. (2025). Introducing B-Sweep: An innovative bird-repelling device powered by solar cells and sound waves, efficiently protecting against bird strikes in airport airside. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 6(2), 1356–1376. <https://doi.org/10.37385/jaets.v6i2.4594>
- Ghaderi, Z., Saboori, B., & Khoshkam, M. (2023). Revisiting the Environmental Kuznets Curve hypothesis in the MENA region: The roles of international tourist arrivals, energy consumption and trade openness. *Sustainability*, 15(3), 2553. <https://doi.org/10.3390/su15032553>
- Gil, D., Klett-Mingo, J. I., & Pavón, I. (2016). Great tits, *Parus major*, increase vigilance time and reduce feeding effort during peaks of aircraft noise. *Animal Behaviour*, 115, 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.02.021>
- Hornain, I. M., & Rosely, N. F. N. (2025). Efficacy of several types of pest bird deterrents and general trend of pest birds at an industrial factory. *Tropical Life Sciences Research*, 36(1), 111–126. <https://doi.org/10.21315/tlsr2025.36.1.7>
- Jotschke, M., Palanisamy, G., Carvajal Ossa, W., Prabakaran, H., Koh, J., Kuhl, M., Krautschneider, W. H., Reich, T., & Mayr, C. (2023). Low-power relaxation oscillator with temperature-compensated thyristor decision elements. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 116, 131–144. <https://doi.org/10.1007/s10470-023-02177-5>
- Mano, B., & Sandhiya, R. (2024). Design and fabrication of solar powered bird scarer. *International Journal of Science and Research Archive*, 13(2), 1024–1033. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.13.2.2225>
- Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D., & Hoekstra, J. M. (2020). The bird strike challenge. *Aerospace*, 7(3), 26. <https://doi.org/10.3390/aerospace7030026>
- Peng, X., Wang, L., Shao, C., & Li, D. (2025). Avian acoustic communication: Understanding of peripheral and central neural systems with ecological adaptations. *Avian Research*, 16(2), 100248. <https://doi.org/10.1016/j.avrs.2025.100248>
- Pradipta, G. A., Liandana, M., Wulaning Ayu, P. D., Susila, I. M. D., Hostiadi, D. P., & Atmojo, Y. P. (2025). Implementasi alat pengusir burung otomatis berbasis embedded system di lahan pertanian. *WIDYABHAKTI Jurnal Ilmiah Populer*, 8(1), 1–6. <https://doi.org/10.30864/widyabhakti.v8i1.875>
- Rathod, V. T. (2020). A review of acoustic impedance matching techniques for piezoelectric sensors and transducers. *Sensors*, 20(14), 4051. <https://doi.org/10.3390/s20144051>
- Redouani, A., Ikmal, G., Zared, K., Çyras, G., & El Amrani El Idrissi, N. E. A. (2024). A comprehensive review of integrated energy storage batteries in renewable energy stations: Technological advancements, challenges and future trends.

- Insights into Regional Development*, 6(3), 40–52.
<https://doi.org/10.70132/s6562942267>
- Saputri, J. T., Soebagio, A., & Arnas, Y. (2025). Analysis of bird strike management strategies at Zainuddin Abdul Madjid International Airport Lombok to improve flight safety. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, 10(2), 116–121.
<https://doi.org/10.35894/jtk.v10i2.286>
- Sheng, D., Chen, W. Y., Huang, H. T., & Tai, L. (2021). Digitally controlled oscillator with high timing resolution and low complexity for clock generation. *Sensors*, 21(4), 1377. <https://doi.org/10.3390/s21041377>
- Sidek, M. Z., & Johari, M. A. M. (2022). Study on effectiveness of air-horn device for bird deterrent in paddy cultivation area. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 6(2), 90–94. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v6i2.8636>
- Španer, M., Truntič, M., & Hercog, D. (2025). IoT-based off-grid solar power supply: Design, implementation, and case study of energy consumption control using forecasted solar irradiation. *Applied Sciences*, 15(22), 12018. <https://doi.org/10.3390/app152212018>
- Sun, H., Wang, Y., Cai, X., Wang, P., Huang, Z., Li, D., ... & Wang, S. (2022, December). Airbirds: A large-scale challenging dataset for bird strike prevention in real-world airports. In *Asian Conference on Computer Vision* (pp. 409–424). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Swaddle, J. P., Moseley, D. L., Hinders, M. K., & Smith, E. P. (2016). A sonic net excludes birds from an airfield: Implications for reducing bird strike and crop losses. *Ecological Applications*, 26(2), 339–345. <https://doi.org/10.1890/15-0829>
- Thady, R. G., Emerson, L. C., & Swaddle, J. P. (2022). Evaluating acoustic signals to reduce avian collision risk. *PeerJ*, 10, e13313. <https://doi.org/10.7717/peerj.13313>
- Wibawa, A., Ashrianto, P. D., & Pambudi, S. T. (2021). Implementation of ADDIE model in improving the ability of lecturers to write scientific articles in accredited journals. *RSF Conference Series: Business, Management and Social Sciences*, 1(4), 124–133. <https://doi.org/10.31098/bmss.v1i4.353>
- Yeh, Y.-T., Rivera, M., & Woolley, S. M. N. (2023). Auditory sensitivity and vocal acoustics in five species of estrildid songbirds. *Animal Behaviour*, 195, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2022.11.002>
- Zeyl, J. N., Snelling, E. P., Joo, R., & Clusella-Trullas, S. (2023). Scaling of ear morphology across 127 bird species and its implications for hearing performance. *Hearing Research*. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2022.108679>
- Zhang, B., Dong, M., Liang, X., Zhang, M., Zhao, T., He, B., & Sun, D. (2024). Theoretical research on the application of impedance calculation in the design of high-intensity low-frequency acoustic generator. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 43(2), 906–919. <https://doi.org/10.1177/14613484231221471>
- Zulhakim, & Malahayati. (2025). Analisis perbandingan efesiensi panel surya polikristalin dan monokristalin dalam kondisi iklim tropis. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1), 431–439. <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7668>

