

PERANCANGAN SAYAP DAN EKOR PESAWAT UDARA NIRAWAK MENGUNAKAN *SOFTWARE* OPENVSP UNTUK MISI HUJAN BUATAN

*Dio Lucky Prastyo¹, M. Munadi², M. N. Setiawan³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

³School of Applied Science Technology Engineering & Mathematics (STEM), Universitas Prasetiya Mulya, Indonesia
BSD City Kavling Edutown I.1, Jl. BSD Raya Utama, BSD City 15339, Kabupaten Tangerang, Indonesia

*E-mail: diolucky07@gmail.com

Abstrak

Operasi penyemaian awan (*cloud seeding*) merupakan teknik modifikasi cuaca penting untuk mitigasi bencana yang umumnya masih mengandalkan pesawat berawak dengan keterbatasan biaya dan risiko keselamatan. Penelitian ini mengembangkan alternatif melalui perancangan Pesawat Udara Nirawak (PUNA) berukuran kecil berbobot sekitar 20 kg yang dikhususkan untuk misi hujan buatan. Fokus perancangan difokuskan pada optimasi geometri sayap dan ekor untuk mencapai performa aerodinamis serta kestabilan yang optimal. PUNA dilengkapi sistem penyemaian menggunakan dua unit *flare* (massa total 4 kg) yang dipasang simetris pada kedua sisi sayap, dengan propulsi bertenaga baterai yang lebih ramah lingkungan. Proses desain diawali dengan penentuan parameter dasar sayap dan ekor berdasarkan literatur, dilanjutkan simulasi karakteristik aerodinamis dan analisis kestabilan menggunakan perangkat lunak *Open Vehicle Sketch Pad* (OpenVSP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi sayap dan ekor yang diusulkan memungkinkan PUNA memenuhi persyaratan operasional, yaitu mampu mengangkut beban 4 kg *flare*, mencapai jangkauan hingga 40 km, serta menjaga kestabilan selama misi. Dengan demikian, desain ini berpotensi menjadi solusi inovatif yang efektif dan efisien untuk mendukung operasi hujan buatan secara terkontrol.

Kata Kunci: *flare*; hujan buatan; openvsp; pesawat udara nirawak (puna); sistem penyemaian awan

Abstract

Cloud seeding operations are an important weather modification technique for disaster mitigation, which generally still relies on manned aircraft due to cost limitations and safety risks. This research develops an alternative through the design of a small Unmanned Aircraft (UNmanned Aerial Vehicle) weighing approximately 20 kg specifically for artificial rain missions. The design focuses on optimizing the wing and tail geometry to achieve optimal aerodynamic performance and stability. The PUNA is equipped with a seeding system using two flare units (total mass 4 kg) mounted symmetrically on both sides of the wing, with more environmentally friendly battery-powered propulsion. The design process begins with determining the basic wing and tail parameters based on literature, followed by aerodynamic characteristic simulations and stability analysis using Open Vehicle Sketch Pad (OpenVSP) software. The results show that the proposed wing and tail configuration allows the PUNA to meet operational requirements, namely being able to carry a load of 4 kg of flares, achieving a range of up to 40 km, and maintaining stability during the mission. Thus, this design has the potential to be an effective and efficient innovative solution to support controlled artificial rain operations.

Keywords: *flares; artificial rain; openvsp; unmanned aerial vehicles (uavs); cloud seeding system*

1. Pendahuluan

Pesawat udara nirawak (PUNA) telah mengalami transformasi signifikan dari penggunaan awalnya dalam bidang militer menjadi platform serbaguna dengan beragam aplikasi sipil [1]. Salah satu aplikasi yang berkembang pesat adalah dalam teknologi modifikasi cuaca, di mana PUNA berperan sebagai wahana penyebar bahan penyemaian awan untuk operasi hujan buatan. Di Indonesia, bahan semai yang umum digunakan adalah suar higroskopis CoSAT-1000 [2], sementara eksperimen di Korea memanfaatkan suar kalsium klorida untuk penyemaian awan hangat [3]. Keandalan PUNA dalam menjalankan misi tersebut sangat bergantung pada performa aerodinamis dan integritas strukturalnya. Analisis aerodinamis dapat dilakukan secara efisien menggunakan perangkat lunak VSPAERO yang terintegrasi dalam OpenVSP NASA. Perangkat ini menawarkan metode *vortex lattice* dan *panel method* yang memungkinkan simulasi langsung tanpa konversi format, sehingga mempercepat iterasi desain [4]. Metode *vortex lattice* dalam VSPAERO terbukti efektif untuk memodelkan interaksi sayap dengan sistem propulsi berbalok-balok, yang dapat direpresentasikan sebagai *actuator disk* [5]. Alternatif lainnya adalah XFLR5, yang dirancang khusus untuk analisis sayap pada bilangan Reynolds rendah meskipun memiliki keterbatasan dalam pemodelan badan pesawat [6].

Dari perspektif struktural, pemilihan konfigurasi rangka sayap yang optimal seperti penggunaan dua *spar* dan delapan *rib* dari material aluminium paduan dapat menyeimbangkan kekuatan struktural, bobot, dan biaya produksi [7].

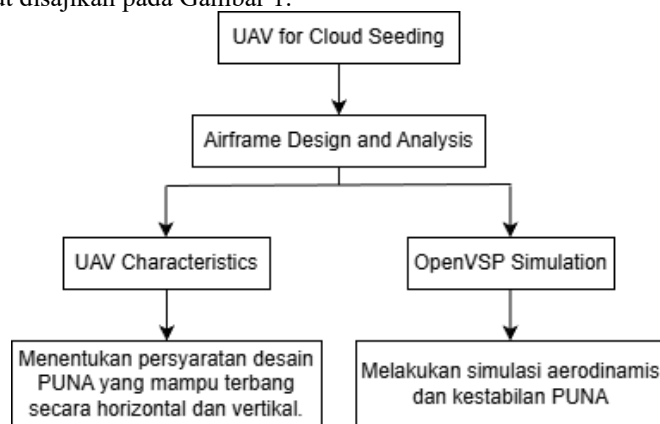
Aspek aerodinamis utama seperti gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*) juga harus dioptimalkan. Peningkatan efisiensi gaya angkat melalui desain sayap yang tepat dapat meningkatkan stabilitas penerbangan dan konservasi energi [8], sementara reduksi gaya hambat berperan penting dalam memperpanjang durasi dan jangkauan operasional [9]. Untuk memperluas fleksibilitas operasional di lokasi dengan infrastruktur terbatas, konfigurasi hybrid *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL) menjadi pilihan yang semakin populer. Desain ini mengintegrasikan empat motor angkat untuk fase vertikal dengan satu motor dorong untuk fase jelajah, memungkinkan transisi yang mulus antara kedua mode penerbangan [10]. Parameter aerodinamis seperti koefisien angkat dan hambatan juga berpengaruh signifikan terhadap kinerja dan stabilitas, terutama selama transisi penerbangan [11][12]. Sumber daya utama PUNA umumnya berupa baterai Li-Po atau Li-Ion yang menawarkan kepadatan energi tinggi namun memiliki keterbatasan durasi [13], sementara sistem autopilot berperan penting dalam navigasi dan kendali [14]. Efisiensi sistem propulsi dapat dioptimalkan dengan mengoperasikan motor pada rentang *throttle* 50-70%, yang terbukti memperpanjang durasi terbang dibandingkan penggunaan *throttle* maksimum [15].

Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis PUNA *hybrid* VTOL yang dioptimalkan khusus untuk misi hujan buatan. Fokus penelitian meliputi aspek aerodinamis, struktural, dan konfigurasi propulsi guna mencapai efisiensi operasional dan keandalan sistem yang tinggi.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir

Secara umum, alur penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu penentuan persyaratan desain dan simulasi. Diagram alir lengkap proses tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Kriteria Perancangan

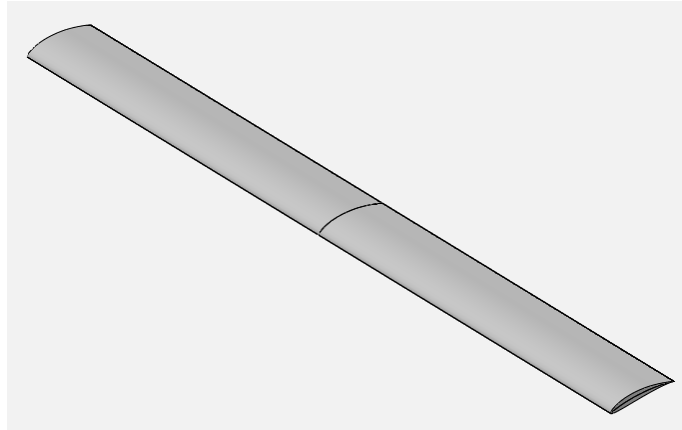
Dalam penelitian ini, kriteria perancangan PUNA dibagi menjadi dua kategori utama: kriteria misi yang terkait dengan persyaratan operasional, dan kriteria teknis yang menyangkut batasan fisik dan performa desain.

Kriteria misi PUNA ditentukan berdasarkan kemampuan ketinggian dan jarak tempuhnya. Pertama, PUNA harus mampu mencapai dan beroperasi pada ketinggian minimal 2000 m. Ketinggian ini dipilih untuk memanfaatkan fenomena *updraft* aliran udara naik yang membawa partikel *flare* perak iodida (AgI) ke lapisan awan target. Dengan terbang di ketinggian ini, PUNA berada dekat dengan dasar awan kumululus, sehingga meningkatkan peluang partikel AgI bereaksi dengan uap air dan memaksimalkan potensi pembentukan hujan. Kedua, PUNA harus memiliki jangkauan jelajah (*cruise*) minimal 40 km. Jangkauan ini diperlukan agar PUNA dapat mencari awan potensial dan mempertahankan kondisi terbang yang stabil selama proses pembakaran *flare* yang berlangsung sekitar 3–4 menit, sehingga dispersi bahan semai terjadi di area target dengan presisi tinggi.

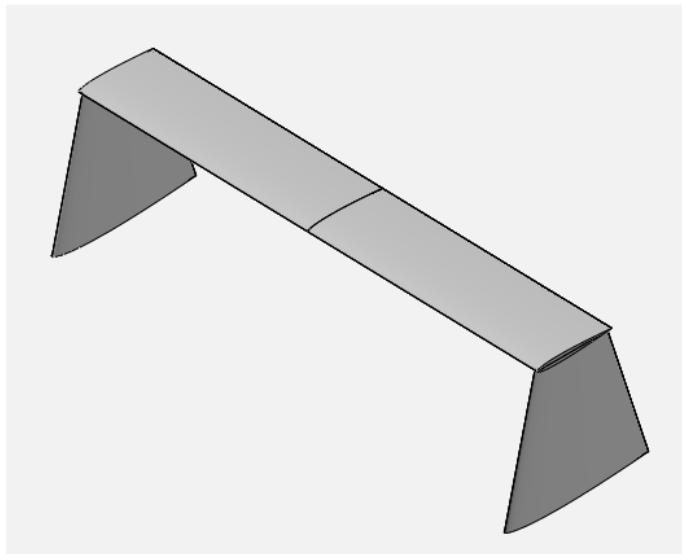
Kriteria teknis mencakup batasan berat dan kapasitas *payload*. Berat lepas landas maksimum (MTOW) PUNA dibatasi 20 kg untuk memastikan portabilitas dan kemudahan pengoperasian di lokasi terpencil, serta mendorong efisiensi desain yang ringkas. Sementara itu, *payload* yang ditetapkan sebesar 4 kg dialokasikan untuk membawa empat buah *flare*. Efektivitas empat *flare* ini setara dengan penyebaran sekitar 400 kg garam. Dengan beberapa kali sorti, efektivitas kumulatifnya dapat mendekati kapasitas pesawat berawak seperti CN-295. Penempatan keempat *flare* juga dirancang untuk menjaga keseimbangan pusat gravitasi dan stabilitas lateral PUNA selama operasi.

2.3 Alat Perancangan

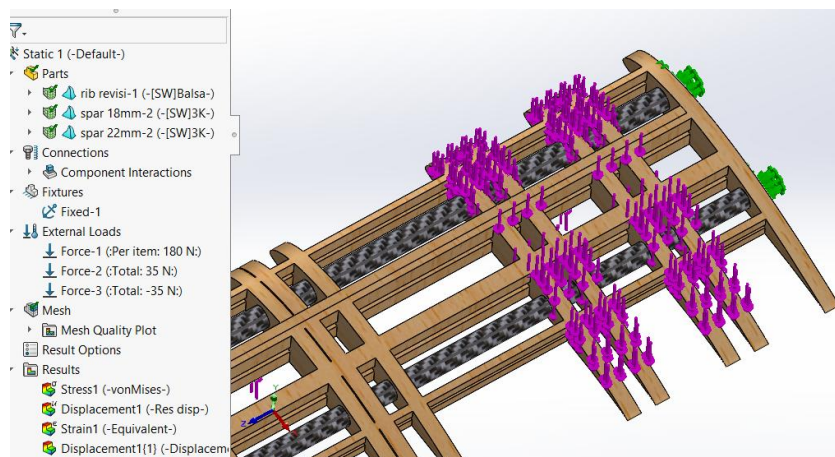
Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak pendukung yang saling melengkapi pada setiap tahap perancangan. OpenVSP digunakan pada fase konseptual untuk pemodelan geometri dan analisis aerodinamika dasar (Gambar 2). Sementara itu, evaluasi karakteristik airfoil dilakukan menggunakan XFLR5. Analisis struktural sayap, termasuk simulasi tegangan dan defleksi akibat beban *flare*, dilakukan dalam SolidWorks (Gambar 3).



Gambar 2. Geometri sayap di OpenVSP



Gambar 3. Geometri ekor di OpenVSP

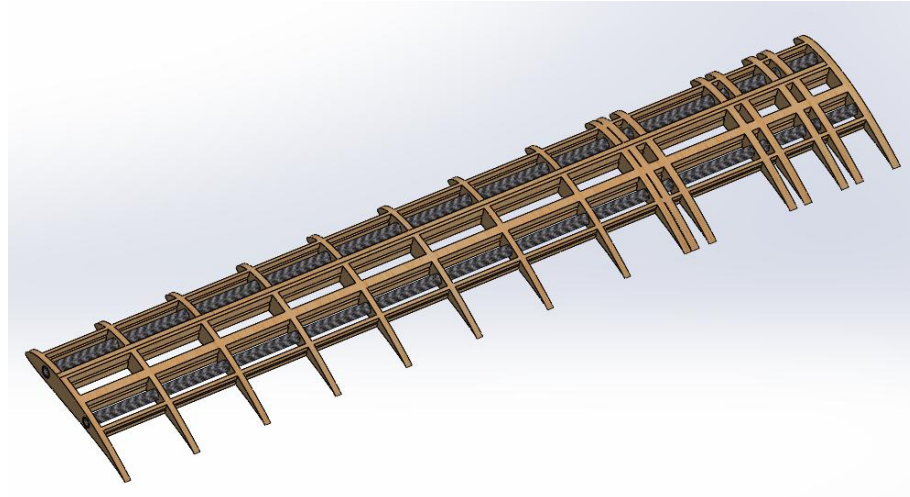


Gambar 4. Set up simulasi struktur sayap

3. Hasil dan Pembahasan

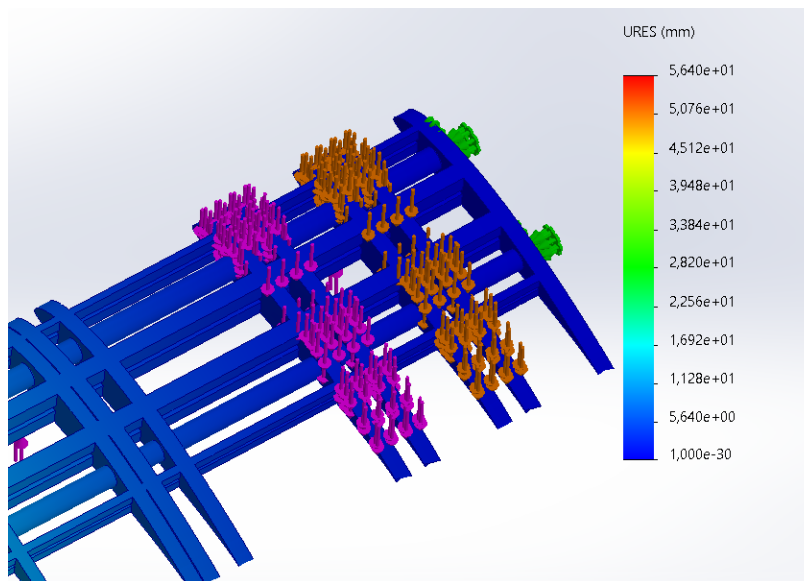
3.1 Desain Sayap

Desain sayap PUNA merupakan perakitan dari *rib* dan *spar* yang telah dirancang seperti pada Gambar 5. Geometri sayap dan berat sayap disesuaikan berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi, serta mendekati karakteristik komponen aslinya.



Gambar 5. Desain sayap PUNA

Pada Gambar 6, lendutan (*displacement*) maksimum akibat pembebanan pada struktur sayap tercatat sebesar 5,64 mm. Nilai tersebut masih dalam batas aman dan dapat ditoleransi pada struktur sayap dengan detail geometri ditunjukkan pada Tabel 1.



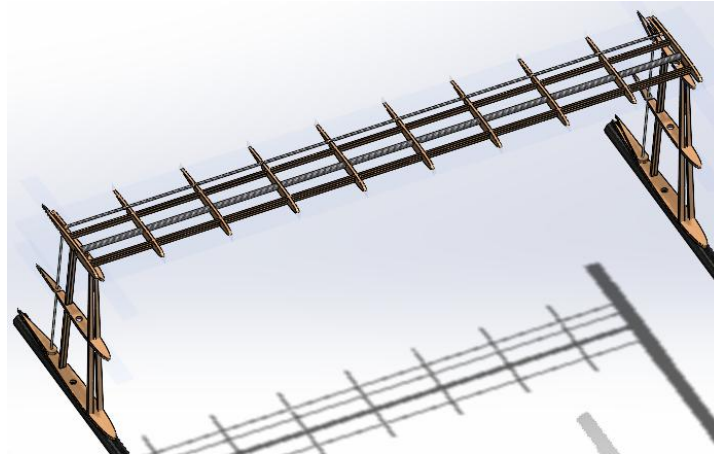
Gambar 6. *Displacement* pada Struktur Sayap

Tabel 1. Parameter sayap

Parameter	Nilai
<i>Span</i>	3,16 m
<i>Chord</i>	0,316 m
<i>Aspect Ratio</i>	10
<i>Taper Ratio</i>	1
<i>Incidence Wing</i>	3°
<i>Airfoil</i>	MH114

3.2 Desain Ekor

Konfigurasi ekor yang dipilih dalam penelitian ini adalah *inverted U-tail* yang ditunjukkan pada Gambar 7, dengan parameter rinci yang diperoleh dari hasil perhitungan dan simulasi OpenVSP sebagaimana disajikan pada Tabel 2.



Gambar 7. Desain ekor PUNA

Tabel 2. Parameter ekor

Parameter	Horizontal Tail	Vertikal Tail
Area	0,17 m ²	0,13 m ²
Moment Arm	1 m	1 m
Span	1,06 m	0,27 m
Root Chord	0,16 m	0,30 m
Tip Chord	0,16 m	0,15 m
Airfoil	NACA 0009	NACA 0009
Volume Coefficient	0,5	0,04

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan, penelitian ini berhasil menghasilkan desain geometri sayap dan ekor untuk PUNA hybrid VTOL+FW yang memenuhi kriteria misi dan teknis yang ditetapkan. Konfigurasi geometri yang diusulkan memungkinkan PUNA mencapai ketinggian operasional 2000 m dan jangkauan jelajah 40 km sesuai kebutuhan misi hujan buatan. Desain struktur sayap dan ekor yang dikembangkan juga mampu mengakomodasi *payload* 4 kg *flare* dengan menjaga keseimbangan dan stabilitas pesawat. Seluruh parameter rancangan menunjukkan kesesuaian dengan batasan berat maksimum 20 kg.

5. Daftar Pustaka

- [1] Abdurkarimov, S., & Ganiev, A. (2022). Recent Approaches and Algorithms to Solutions of The Problems of Collision Avoidance of Unmanned Aerial Vehicles. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management*, 188-194.
- [2] Mariana, R. S., Wirawan, D., Nuryanto, S., Purwadi, Pramana, R., & Harsoyo, B. (2023). Kajian Dampak Penggunaan Bahan Semai Powder Nacl pada Kegiatan Teknologi Modifikasi Cuaca Terhadap Kualitas Air (Studi Kasus : Kegiatan Tmc Dta Toba Periode 17 Oktober – 16 November 2022). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 43-54.
- [3] Jung, W., WanCha, J., Ko, A.-R., Chae, S., Ro, Y., Hwang, H. J., . . . Lee, C. (2022). Progressive and Prospective Technology for Cloud Seeding Experiment by Unmanned Aerial Vehicle and Atmospheric Research Aircraft in Korea. *Advances in Meteorology*.
- [4] Cordova, J. R., Delgado, C. S., Alcantara, D. H., & Brooks, L. A. (2024). Validation of VSPAERO for Basic Wing Simulation. *International Journal of Numerical Methods for Calculation and Design in Engineering*.
- [5] Sheridan, C. N., Pham, D., & Whiteside, S. (2021). Evaluation of VSPAERO Analysis Capabilities for Conceptual Design of Aircraft with Propeller-Blown Wings. *AIAA AVIATION 2021 FORUM*. AIAA.
- [6] Yu, H., Li, J., & Baoyin, H. (2023). Analysis of Aerodynamic Characteristics of Different Tail Configurations of Compound High-speed Helicopters . *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing .
- [7] Naem, S. M. (2024). Structural and Stress Analysis of NACA0012 Wing Using SolidWorks. *International Information and Engineering Technology Association*, 2181-2186.
- [8] Lee, C., Kim, S., & Chu, B. (2021). A Survey: Flight Mechanism and Mechanical Structure of the UAV. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 719-743.
- [9] Usin, Fernanda, Y., Karudin, A., & Kurniawan, A. (2022). Perbandingan Lift dan Drag pada Airfoil NACA 1408 Standar dan Modifikasi Menggunakan Computational Fluid Dynamic. *Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 225.

-
- [10] Vidan, C., Popescu, I. -A., & Grigorie, T. L. (2023). Conceptual Design of a Dual Battery Power Supply System for a Fixed-wing VTOL UAV. 2023 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) (pp. 1-7). Bucharest, Romania: IEEE. [5] Sheridan, C. N., Pham, D., & Whiteside, S. (2021). Evaluation of VSPAERO Analysis Capabilities for Conceptual Design of Aircraft with Propeller-Blown Wings. AIAA AVIATION 2021 FORUM. AIAA.
 - [11] Xiaoyan Liu, K. C. (2022). A Nonlinear Correction Method on Elastic Lift Coefficient for Civil Aircraft. Journal of Physics: Conference Series, 012001.
 - [12] Ai, L., Xia, H., Yang, J., He, Y., Tang, W., Fan, M., & Xiang, J. (2024). A Study on the Aerodynamic Impact of Rotors on Fixed Wings During the Transition Phase in Compound-Wing UAVs. Aerospace.
 - [13] Abdulrahman, G. A., Qasem, N. A., Abdelrahman, W. G., & Abdallah, A. M. (2025). A Review of Powering Unmanned Aerial Vehicles by clean and Renewable Energy Technologies. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2213-1388.
 - [14] Sadraey, M. H. (2020). Design of Unmanned Aerial Systems. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd..
 - [15] Donapati, S., Liu, X., Modgil, P., Roychoudhury, R., Shefman, T., & Sultana, H. (2024). Soil Salinity Level Assessment and Prediction Integrating UAV-borne Hyperspectral Imaging and Machine Learning Algorithms to Combat Desertification . NASA Technical Reports Server (NTRS).