



Analisis Penggunaan Solar Cell Pada Drone Bertenaga Listrik Untuk Optimalisasi Durasi Terbang dan Pengaruhnya Terhadap Gaya Aerodinamika Pada *Drone Fixed-Wing*

Analysis Of Solar Cell Utilization On Electric-Powered Drones For Flight Duration Optimization And Its Effect On Aerodynamic Forces Of Fixed-Wing Drones

Mohammad Naufal Fernanda^{1*}, Raden Agus Subijanto²

^{1,2} Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara
E-mail: fernandanaufalmohammad@gmail.com

Abstract— *The UAV-CH4 is an unmanned aerial vehicle (UAV) operated by the Indonesian Air Force (TNI AU) and is currently in active service. This drone applies the principle of high-altitude flight, utilizing its large dimensions and long wingspan. This study aims to investigate the effect of adding solar cells on the aerodynamic characteristics of the UAV-CH4's wing and the effectiveness of solar cells on electrically powered drones. The research procedure was carried out using a subsonic wind tunnel and drone testing. The wing model analyzed was based on the UAV-CH4 wing, using the LRN 1015 airfoil, as well as a drone powered by rotors (propellers). The wing model was designed with SolidWorks, manufactured using a 5-axis CNC machine, and tested in a subsonic wind tunnel to analyze its aerodynamic characteristics. The parameters studied included lift, drag, lift coefficient, and drag coefficient, with variations involving the addition of solar cells. The study also evaluated the effectiveness of solar cells installed on an electric-powered drone. The results indicate that the use of solar cells has no significant impact on the aerodynamic forces of the airfoil, whether with or without solar cells.*

Keywords— *Solar Cell, UAV-CH4 Rainbow, Subsonic Wind Tunnel*

Abstrak— *Pesawat UAV-CH4 merupakan pesawat terbang tanpa awak milik TNI AU yang saat ini sedang aktif dioperasikan. Drone ini menerapkan prinsip terbang di ketinggian dengan memanfaatkan dimensi serta rentang sayapnya yang panjang. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penambahan solar cell terhadap karakteristik aerodinamika dari sayap pesawat UAV-CH4 dan efektivitas solar cell pada drone bertenaga listrik. Prosedur pelaksanaan penelitian dilaksanakan menggunakan wing tunnel sub sonic dan pengujian drone. Model sayap pesawat yang akan dianalisa yaitu model sayap pesawat UAV-CH4 berupa airfoil LRN 1015 dan berupa drone rotor (propeller). Pemodelan sayap dilaksanakan menggunakan aplikasi solidworks dan kemudian menggunakan CNC 5 Axis, dan di ujikan pada wing tunnel sub sonic untuk menganalisis karakter aerodinamiknya. Karakteristik aerodinamika pada sayap UAV-CH4 yang dianalisis berupa lift, drag, koefisien lift dan koefisien drag dengan variasi tambahan solar cell, dan juga efektivitas pada Drone yang ditambahkan solar cell. Hasil ini menunjukkan penggunaan Solar Cell tidak berdampak signifikan pada gaya aerodinamika pada airfoil yang menggunakan solar cell maupun tanpa solar cell.*

Kata Kunci— *Solar cell, UAV-CH4 Rainbow, Wing Tunnel Subsonic*

*Mohammad Naufal Fernanda
E-mail: fernandanaufalmohammad@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, terdiri dari lebih dan 17.000 pulau yang tersebar luas di kawasan Asia Tenggara. Wilayah terbentang dari Sabang hingga Merauke ini memiliki tantangan geografis yang unik, seperti jarak antar pulau yang sangat jauh, medan yang sulit dijangkau, serta keragaman lingkungan yang memerlukan perhatian khusus dalam hal pengawasan, pengelolaan sumber daya alam, dan penanggulangan bencana. Dalam konteks ini, pesawat tanpa awak (drone) dapat memainkan peran penting. Dengan kemampuannya untuk menjangkau daerah-daerah terpencil atau sulit dijangkau oleh transportasi konvensional, pesawat tanpa awak bisa digunakan untuk berbagai tujuan, seperti pemantauan lingkungan, survei geospasial, pemetaan wilayah, serta pengiriman barang ke daerah yang sulit dijangkau. Oleh karena itu, penggunaan pesawat tanpa awak di Indonesia sangat diperlukan untuk mendukung efisiensi dan efektivitas dalam pengelolaan wilayah yang luas dan beragam ini (Hartanto et al., 2022).

Saat ini, teknologi drone semakin berkembang pesat dan digunakan dalam berbagai sektor, memberikan inovasi yang signifikan dalam berbagai bidang. Drone, yang awalnya hanya digunakan dalam militer, kini telah merambah ke industri sipil seperti pertanian, perikanan, pemetaan, pengawasan lingkungan, hingga transportasi barang. Kemampuan drone untuk terbang secara otomatis dan mengakses lokasi yang sulit dijangkau oleh manusia membuatnya sangat efektif dalam berbagai aplikasi, seperti pemantauan area bencana, inspeksi infrastruktur, serta pengambilan gambar atau video udara dengan kualitas tinggi. Selain itu, drone juga digunakan dalam pengiriman barang, seperti makanan atau produk, di daerah perkotaan maupun terpencil. Dengan adanya kemajuan dalam teknologi yang sangat penting dalam mendukung berbagai industri di era digital ini. (Indahsari et al., 2022).

Pada penulisan tugas akhir ini mengambil judul “Analisis Penggunaan Solar Cell Pada Drone Bertenaga Listrik Untuk Optimalisasi Durasi Terbang dan Pengaruhnya terhadap Gaya Aerodinamika Pada Drone Fixed-Wing” semakin penting dalam mengembangkan teknologi penerbangan yang ramah lingkungan dan efisien. Penggunaan solar cell pada drone bertujuan untuk meningkatkan ketahanan dan jangkauan penerbangan tanpa mengandalkan sumber energi fosil. Dengan mengintegrasikan panel surya ke dalam desain drone, energi yang dihasilkan dari sinar matahari dapat digunakan untuk mengisi baterai atau langsung mendukung operasi penerbangan. Hal ini sangat relevan untuk prototype drone bertenaga listrik, yang bergantung pada sumber daya listrik untuk beroperasi.

LANDASAN TEORI

A. Drone

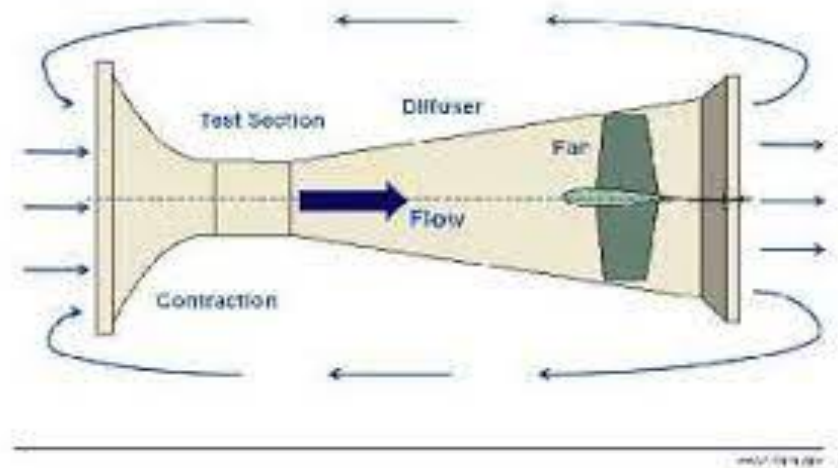
Drone adalah Alat penerbang tanpa awak (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) yang dapat dikendalikan dari jarak jauh atau beroperasi secara otomatis. Drone digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pemantauan, survei, pengiriman barang, dan fotografi udara.

B. Panel Surya (Solar Cell)

Panel Surya merupakan sekumpulan sel surya yang dipasang pada permukaan drone untuk menangkap sinar matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik. Ukuran dan efisiensi panel ini mempengaruhi berapa banyak energi yang dapat diproduksi oleh drone.

C. Wing Tunnel

Wind Tunnel adalah tabung besar dengan udara yang bertiup melaluinya yang digunakan untuk meniru interaksi antara udara dan benda yang terbang di udara atau bergerak disepanjang terowongan tersebut. Para peneliti menggunakan terowongan angin untuk mempelajari lebih lanjut tentang bagaimana sebuah pesawat terbang akan terbang. Objek yang diuji dipegang dengan aman di dalam terowongan sehingga tetap diam. Benda tersebut dapat berupa benda uji aerodinamis seperti silinder atau airfoil, komponen individu, model kecil kendaraan, atau kendaraan berukuran penuh.



Gambar 1. *Wing Tunnel*

D. UAV CH-4 Rainbow

Pesawat UAV jenis ini merupakan pesawat terbang tanpa awak yang dimiliki TNI AU yang saat ini sedang aktif dioperasikan. Drone ini menerapkan prinsip terbang di ketinggian dengan memanfaatkan dimensi serta rentang sayapnya yang panjang sehingga mampu terbang tanpa harus mendarat untuk refueling dalam waktu yang lama, karena durability merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada efektifitas drone.



Gambar 2. Model CH 4 Rainbow

TABEL I
AIRFOIL CH 4 NACA 1015 TANPA SOLAR CELL

Time	AFA3 Balance			AFA5 DP Cell 1	AFA5 DP Cell 2
Time	Lift	Drag	Pitching Moment	Pressure	Pressure
(s)	(N)	(N)	(Nm)	(Pa)	(Pa)
Kecepatan 7 Km/Jam					
0	0,01	0,04	0,00	31	-32
184,1	0,05	0,11	0,00	27	-28
301,9	0,12	0,13	0,01	30	-36
517,3	0,15	0,14	0,01	27	-32
1515,7	0,15	0,14	0,01	32	-34
1719,1	0,18	0,17	0,01	31	-37
1857,8	0,26	0,22	0,01	28	-35
2129,9	0,18	0,23	0,01	29	-31
Kecepatan 14 Km/Jam					
0	0,07	0,34	0,00	116	-122
90,2	0,11	0,37	0,00	117	-123

236,3	0,19	0,38	0,01	115	-135
307,7	0,23	0,43	0,01	117	-128
460,5	0,29	0,48	0,01	113	-119
565,3	0,33	0,53	0,01	114	-122
964	0,30	0,57	0,01	116	-127

Kecepatan 28 Km/jam

0	0,29	1,37	0,01	456	-477
101,8	0,52	1,49	0,02	459	-503
203,2	1,42	1,03	0,07	468	-531
341,5	1,85	0,81	0,08	459	-485
732,4	2,12	0,25	0,09	475	-473
1020,1	2,40	0,08	0,12	466	-485
1337	2,20	0,03	0,13	454	-484

TABEL I
AIRFOIL CH 4 NACA 1015 DENGAN SOLAR CELL

Time	AFA3 Balance			AFA5 DP Cell 1	AFA5 DP Cell 2
Time	Lift	Drag	Pitching Moment	Pressure	Pressure
(s)	(N)	(N)	(Nm)	(Pa)	(Pa)
Kecepatan 7 Km/jam					
0	0,01	0,03	0,00	27	-29
1349,2	0,07	0,03	0,00	28	-30
1717	0,15	0,04	0,01	30	-31
1813	0,25	0,04	0,01	29	-32
2190	0,27	0,07	0,01	28	-38
2518,3	0,35	0,08	0,02	29	-33
2781,6	0,34	0,08	0,02	29	-37
Kecepatan 14 Km/Jam					
96,9	0,05	0,04	0,00	118	-128
443,4	0,07	0,08	0,00	114	-137
782,4	0,08	0,09	0,00	117	-153
975,5	0,19	0,31	0,01	121	-161
1383,2	0,31	0,41	0,01	112	-167
1873,4	0,32	0,43	0,01	113	-183
2178,5	0,35	0,45	0,00	117	-197

Analisis Penggunaan Solar Cell Pada Drone Bertenaga Listrik Untuk Optimalisasi Durasi Terbang dan Pengaruhnya Terhadap Gaya Aerodinamika Pada Drone Fixed-Wing (Mohammad Naufal Fernanda)

Kecepatan 28	Km/Jam				
0	0,22	1,23	0,00	467	-475
347,7	0,44	1,36	0,00	467	-501
932,8	1,16	1,07	0,00	455	-472
1482,4	1,78	0,78	0,00	466	-493
2064,7	2,11	0,18	0,00	463	-512
2478,5	2,13	0,02	0,00	475	-527
3197,6	2,19	0,10	0,00	449	-542

Spesifikasi Drone:

- 1) Konfigurasi:
 - a) Quadcopter (4 baling-baling).
 - b) Frame berbahan plastik transparan landing gear kecil.
- 2) Sistem Propulsi:
 - a) 4 motor listrik brushless/brushed kecil
 - b) Baling-baling dua bilah (propeller plastik hitam).
- 3) Sumber Daya:
 - a) Baterai kapasitas sekitar 2200 mAh, 7.4V
 - b) Panel surya di bagian atas
 - c) Terdapat indikator level baterai (digital voltmeter).
- 4) Sistem Kontrol:
 - a) Flight controller bawaan drone mainan / semi-hobi.
 - b) Modul charger
- 5) Struktur Tambahan:
 - a) Panel surya ditempel di atas bodi.
 - b) Kabel eksternal untuk charging dan distribusi daya.
- 6) Fitur Kemungkinan:
 - a) Kamera kecil di bagian depan
 - b) Transmisi Wi-Fi FPV atau hanya perekaman lokal
 - c) Terbang manual dengan remote control 2.4 GHz.
- 7) Perkiraan Kapabilitas
 - a) Waktu terbang: 15-16 Menit
 - b) Jarak kendali: 50 m
 - c) Berat total: 320 gram.
 - d) Kegunaan: Edukasi, eksperimen energi terbarukan

II. METODE PENGOLAHAN DATA

Berikut ini merupakan model yang telah dilakukan terhadap Drone Solar Cell maupun pengujian Daya dan Kemampuan Drone Sebelum dimodifikasi dengan tambahan Solar Cell dan Setelah dipasangkan Solar Cell dengan berbagai pengujian. Setelah diasumsikan dengan berbagai Parameter dan perumusan masalah yang sudah ditentukan maka diperoleh data-data pengujian sebagai berikut :

Kemampuan Daya Input Solar Cell pada Baterai

Secara Perhitungan :

Intensitas matahari standart = 1000 W/m^2

Luas Panel $4 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 0.04 \text{ m} \times 0.10 \text{ m} = 0.004 \text{ m}^2$

Energi yang diterima panel $1000 \text{ W/m}^2 \times 0.004 \text{ m}^2 = 4 \text{ W}$

$4 \text{ W} \times 1.20 = 0.8 \text{ W}$

2) Kemampuan Durasi Operasi pada Drone

Dengan Solar Cell

Penggunaan saat beroperasi

Daya Baterai : $7.4 \text{ V} (2200 \text{ mAh}) \times 2 \text{ baterai}$

Daya Konsumsi 50 Watt

Waktu Terbang = $14 \text{ Menit } 51 \text{ Detik}$

Tanpa Solar Cell

Baterai $7.4 \text{ V} (2,2 \text{ Ah}) = 16,28 \text{ Wh}$

$16.28 : 0.24.9 \text{ jam} = 65 \text{ W}$

Drone dengan 2S mengkonsumsi 65 W , Sedangkan Solar Cell menambah 0.8 W

$4.8 \text{ W} / 65 \text{ W} = 0.0738 = 7.38\%$

Jadi $7.38\% \times 15 \text{ menit} = 1 \text{ Menit } 10 \text{ Detik}$

Penggunaan Dengan Solar Cell $17 \text{ Menit } 01 \text{ Detik}$

3) Perbandingan Kemampuan Drone

Analisis Penggunaan Solar Cell Pada Drone Bertenaga Listrik Untuk Optimalisasi Durasi Terbang dan Pengaruhnya Terhadap Gaya Aerodinamika Pada Drone Fixed-Wing (Mohammad Naufal Fernanda)

a) **Massa**

Drone Tanpa Solar Cell

320 gram

Drone Dengan Solar Cell

365 gram

b) **Manuver**

Drone Tanpa Solar Cell

Cepat

Drone Dengan Solar Cell

Lambat

Ketinggian Terbang Maksimal

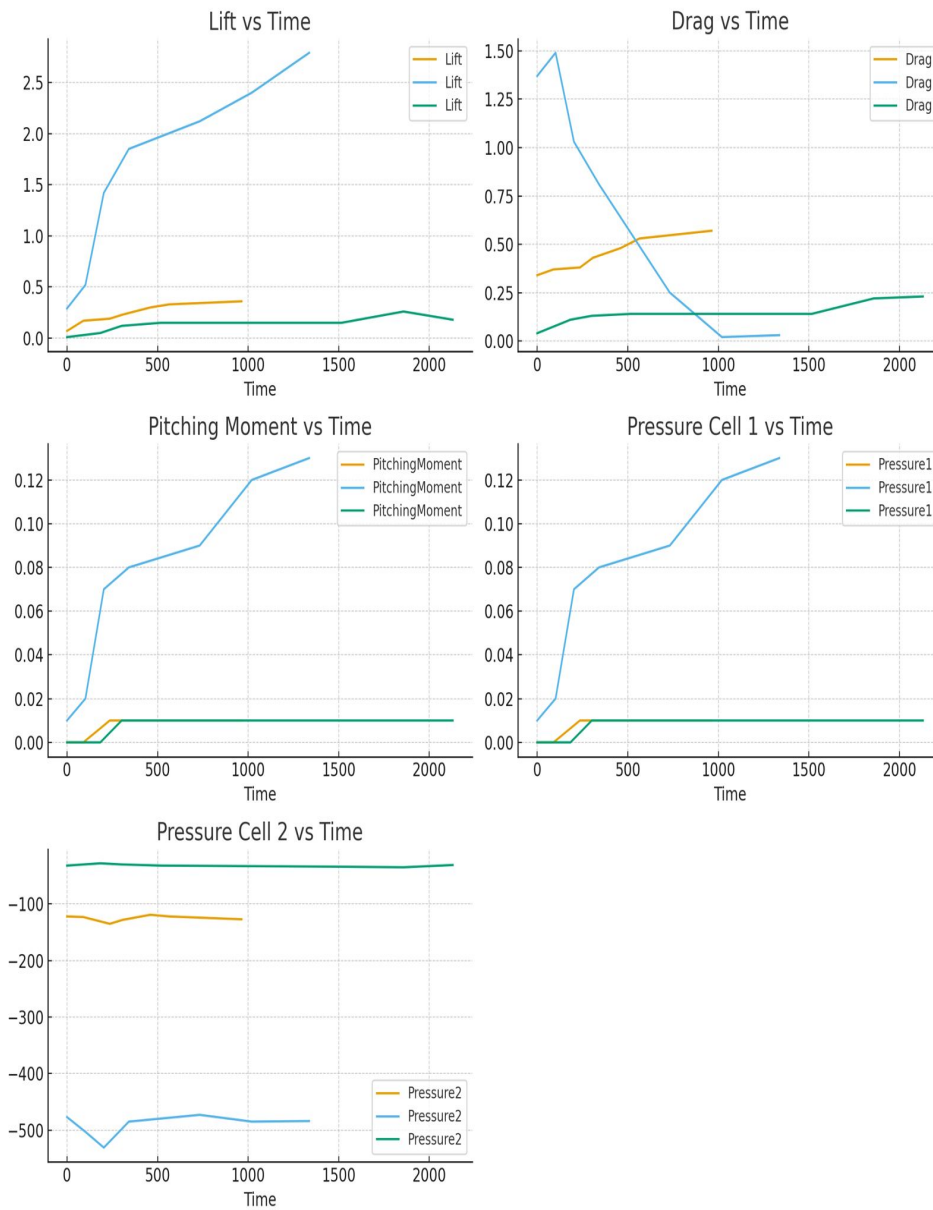
Drone Tanpa Solar Cell

50 Meter

Drone Dengan Solar Cell

10 Meter

Grafik Percobaan Airfoil NACA 1015 (Tanpa Solar Cell)



Grafik Hasil Percobaan Aerodinamika

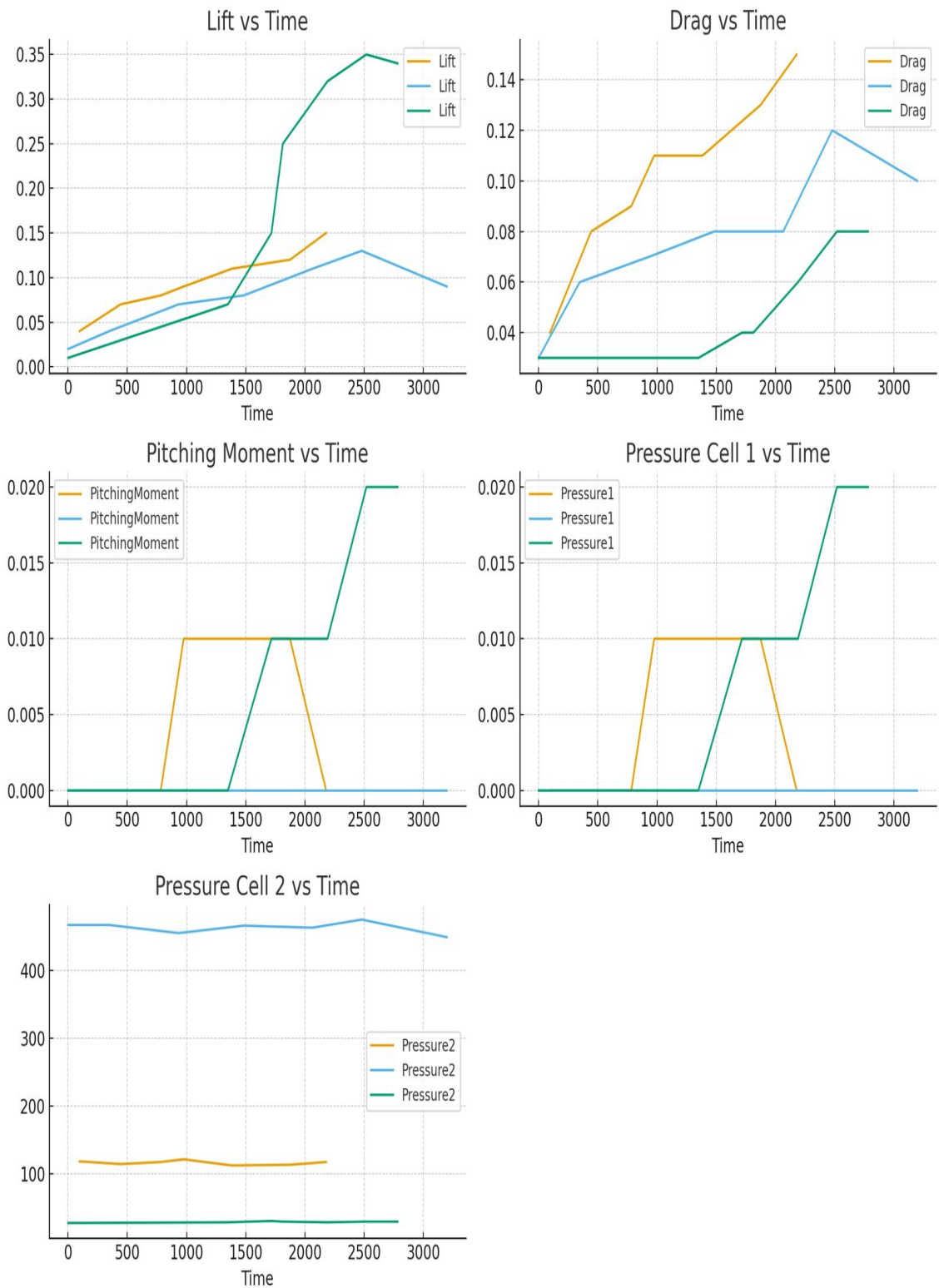
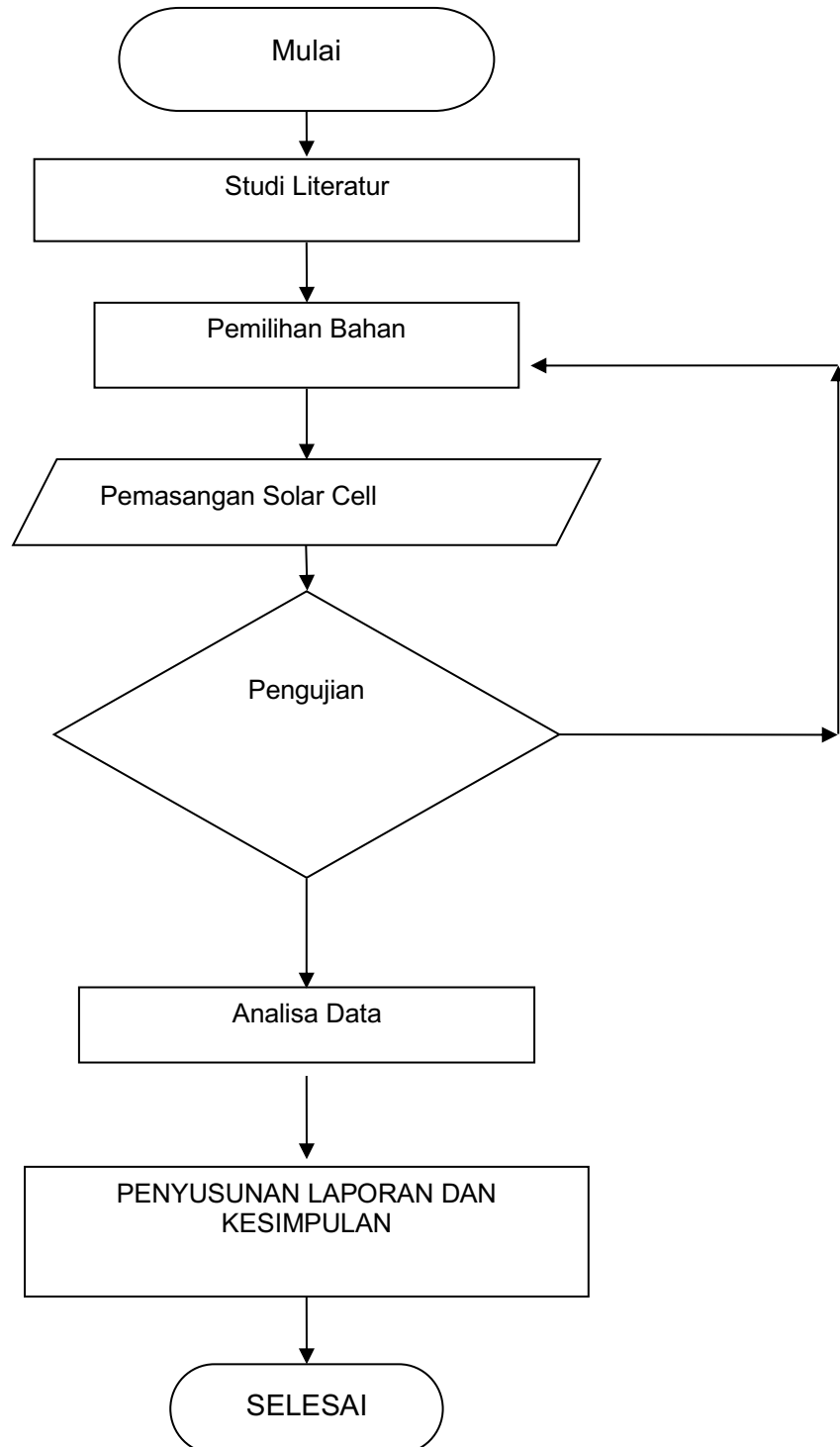


Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini



III. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian

Berikut ini merupakan proses dari simulasi dan pengujian sepuluh model drone dengan variasi Solar Cell. Setelah diasumsikan dengan berbagai parameter dan perumusan masalah yang sudah ditentukan maka diperoleh data-data pengujian. Analisis ini berfokus pada pengaruh variasi terhadap karakteristik dan kemampuan Drone dan airfoil

B. Pembahasan

Data-data yang diperlukan untuk melakukan simulasi adalah sebagai berikut :

Kecepatan (km/jam)	Kondisi	Rata-rata Lift (N)	Rata-rata Drag (N)	Rata-rata Pitching Moment (Nm)	Rata-rata Tekanan DP1 (Pa)	Rata-rata Tekanan DP2 (Pa)
7	Tanpa Solar Cell	0.13	0.14	0.11	29	-34
7	Dengan Solar Cell	0.18	0.06	0.05	29	-33
14	Tanpa Solar Cell	0.21	0.38	0.01	116	-125
14	Dengan Solar Cell	0.18	0.23	0.01	116	-155
28	Tanpa Solar Cell	1.73	0.83	0.07	462	-486
28	Dengan Solar Cell	1.55	0.66	0	461	-504

Analisis Perbandingan

(a) Dari hasil rata-rata dapat dilihat bahwa lift meningkat seiring bertambahnya kecepatan udara pada kedua kondisi. Namun, pada kecepatan tinggi (28 km/jam), lift airfoil tanpa solar cell lebih besar 1,75 N) dibandingkan dengan solar cell (1,55 N). Penurunan gaya angkat ini disebabkan oleh perubahan permukaan airfoil yang menjadi lebih kasar akibat pemasangan panel surya, sehingga aliran udara diatas airfoil menjadi turbulen dan mengurangi perbedaan tekanan antara atas dan bawah

(b) Nilai drag menurun pada airfoil dengan solar cell di semua kecepatan. Meskipun demikian, penurunan drag ini tidak diikuti peningkatan lift yang sebanding, sehingga efisiensi aerodinamis (Lift-to-Drag ratio) tetap lebih rendah dibanding airfoil tanpa solar cell.

(c) Momen Pitching (Pitching Moment) Nilai pitching moment relatif kecil pada kedua kondisi, namun terdapat sedikit peningkatan pada airfoil dengan solar cell. Hal ini menunjukkan bahwa pusat tekanan mengalami sedikit pergeseran, yang dapat memengaruhi kestabilan longitudinal airfoil.

(d) Tekanan (Pressure) Nilai tekanan pada DP Cell 1 dan DP Cell 2 menunjukkan bahwa tekanan negatif (DP Cell 2) meningkat secara absolut pada kondisi menggunakan solar cell. Artinya, meskipun aliran udara di atas airfoil menjadi lebih cepat (karena efek permukaan), distribusi tekanan tidak menghasilkan gaya angkat yang efektif seperti pada kondisi tanpa solar cell.

Drone Solar Cell

- 1) Penambahan solar cell memberikan kontribusi energi tambahan yang kecil namun signifikan terhadap daya tahan baterai drone. Berdasarkan perhitungan, panel surya berukuran 4 cm x 10 cm dapat menyerap energi sebesar 4 watt dari intensitas matahari standar (1000 W/m^2), namun hanya menghasilkan daya input sekitar 0,8 watt ke baterai setelah dikalikan dengan efisiensi.
- 2) Durasi operasi drone meningkat dengan adanya solar cell. Drone tanpa solar cell memiliki waktu terbang sekitar 15 menit, sedangkan dengan solar cell waktu terbang meningkat menjadi sekitar 17 menit 1 detik. Peningkatan ini setara dengan tambahan waktu sekitar 1 menit 10 detik, atau sekitar 7,38% dari durasi awal, yang menunjukkan adanya kontribusi positif dari solar cell terhadap efisiensi daya.
- 3) Penambahan solar cell berdampak pada peningkatan massa drone. Drone dengan solar cell memiliki berat 365 gram, sedangkan tanpa solar cell hanya 320 gram. Penambahan 45 gram ini memengaruhi performa aerodinamis dan manuver drone.
- 4) Manuver drone menurun akibat penambahan solar cell. Drone tanpa solar cell memiliki kemampuan manuver yang cepat, sedangkan drone dengan solar cell mengalami perlambatan dalam respon gerak. Hal ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh peningkatan massa dan perubahan distribusi beban.
- 5) Ketinggian terbang maksimal mengalami penurunan saat menggunakan solar cell. Drone tanpa solar cell dapat mencapai ketinggian hingga 50 meter, sedangkan drone dengan solar cell hanya mampu mencapai 10 meter. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan berat dan kemungkinan hambatan angin dari panel surya berpengaruh terhadap kemampuan angkat drone.
- 6) Secara keseluruhan, penambahan solar cell meningkatkan durasi terbang namun mengorbankan performa manuver dan ketinggian terbang. Oleh karena itu, penggunaan solar cell cocok untuk aplikasi drone yang memprioritaskan durasi operasi, namun kurang tepat untuk kebutuhan drone yang memerlukan kecepatan, manuver tinggi, dan ketinggian maksimum.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, penggunaan solar cell pada drone memberikan tambahan energi yang berdampak pada peningkatan waktu terbang sekitar 1 menit 10 detik sehingga total durasi mencapai 17 menit 1 detik dibandingkan 15 menit pada drone tanpa solar cell, dengan peningkatan efisiensi sekitar 7,38%. Namun demikian, tambahan massa sebesar 45 gram dari panel surya menurunkan performa dalam hal manuver, kecepatan, dan ketinggian maksimal—drone berpanel surya hanya mampu terbang hingga 10 meter dibandingkan 50 meter pada drone biasa. Meskipun demikian, drone dengan solar cell tetap efisien untuk misi berdurasi lebih lama yang tidak memerlukan kelincahan atau ketinggian tinggi, selama intensitas cahaya matahari mencukupi. Sementara itu, hasil analisis terhadap airfoil CH-4 Rainbow menunjukkan bahwa pengaruh gaya aerodinamika terhadap performa sayap tergolong kecil dan tidak signifikan. Bentuk serta konfigurasi sayap CH-4 lebih menitikberatkan pada kestabilan struktural dan kemudahan produksi daripada optimalisasi aerodinamika, sehingga perubahan variabel aerodinamika tidak memberikan dampak besar terhadap kinerja terbang. Secara keseluruhan, baik pada drone dengan solar cell maupun airfoil CH-4 Rainbow, efisiensi dan kestabilan menjadi faktor utama yang diutamakan, sedangkan peningkatan performa aerodinamika dan manuverabilitas masih terbatas.

REFERENSI

- Arif maulana ghofar, 14525033. (2018). Pemilihan sudut pasang airfoil naca 2412 pada tail uav male dengan menggunakan software berbasis computational fluid dynamic untuk memperoleh gaya angkat optimal. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/7281>
- Hartanto,tri. (2015). Analisa aerodinamika flap dan slat pada airfoil naca 2410 terhadap koefisien lift dan koefisien drag dengan metode computational fluid dynamic. 15.
- Hidayat, m. F. (2016). Analisa aerodinamika airfoil naca 0021 dengan ansys fluent. Jurnal kajian teknik mesin, 1(1), 43–59. <https://doi.org/10.52447/jktm.v1i1.332>
- Jatisukamto, g., & sari, m. (2018). Analisis airfoil double-slot flap ls(01)-0417 mod dengan airfoil tanpa flap nasa sc(2) 0610. Jurnal energi dan manufaktur, 11(2), 49. <https://doi.org/10.24843/jem.2018.v11.i02.p03>
- Sari, m. (2018). Optimasi coefficient lift (cl) single slotted flap dan double slotted flap pada pesawat n219 menggunakan simulasi computational fluid dynamic. 79.