

## STUDI KINETIKA SISTEM PELONTAR WAHANA TERBANG

**Syahrul Imam Maulana, Muhammad Dzulfikar\***

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim

Jl. Raya Gunungpati KM.15, Nongkosawit, Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50224

\*Email: dzulfikar@unwahas.ac.id

### Abstrak

Wahana terbang yang dikendalikan dengan kontrol jarak jauh dan berukuran mini membutuhkan sistem peluncur khusus. Ada yang dilempar langsung dengan tangan maupun dengan alat pelontar. Latar belakang penelitian didasarkan pada kebutuhan akan adanya sistem pelontar yang efektif dan efisien untuk Kontes Robot Terbang Indonesia. Tujuan dari artikel penelitian ini adalah mencari nilai kekuatan lontar dan kecepatan lepas landas untuk menerbangkan pesawat model. Pelontar dengan konsep landasan gelinding dan dilengkapi tali karet dibuat untuk uji penerbangan. Parameter penting dalam keberhasilan terbang dengan pelontar adalah kecepatan lepas landas, panjang landasan, kekuatan pegas tali karet dan sudut lontar. Penelitian dibatasi pada perhitungan matematis dari parameter dimensi pelontar dan asumsi kekuatan tali pegas. Hasil perhitungan didapatkan nilai kecepatan lepas landas 4,12 m/s dari kekuatan gaya lontar sebesar 11,42 N. Nilai ini berhasil diperbaiki dan divalidasi dari data pengukuran ardupilot saat uji terbang sebesar 7,07 m/s.

**Kata kunci:** wahana; kecepatan; dinamika; pelontar

## PENDAHULUAN

Kontes robot terbang Indonesia merupakan kegiatan peningkatan prestasi akademik tingkat mahasiswa di bidang rekayasa pesawat tanpa awak. Salah satu divisi perlombaan KRTI 2021 yaitu *racing plane*. Wahana harus melakukan lepas landas menggunakan pelontar yang dapat memberikan tambahan gaya luncur (Nurhadi *et al.*, 2021).

Pelontar atau ketapel wahana terbang merupakan mesin yang berguna untuk meluncurkan pesawat dari kapal khususnya dalam ruangan terbatas (Brayan *et al.*, 2022; Anuar, Nugraha, *et al.*, 2023). Mesin peluncur ini terdiri dari landasan yang dibangun di atas dek penerbangan, di bawahnya terdapat piston besar atau *shuttle* yang terpasang melalui trek ke gigi hidung pesawat, atau dalam beberapa kasus tali kawat disebut kekang ketapel melekat pada pesawat.

Penggunaannya menjadi penting mengingat dalam rekayasa wahana terbang skala kecil atau miniatur tidak dilengkapi dengan roda dan baling-baling untuk gerak naik. Selain hal tersebut, pesawat model sering diterbangkan di lokasi yang tidak menentu dan tidak rata; seperti lembah, bukit, tanah lapang perkebunan, dsb.

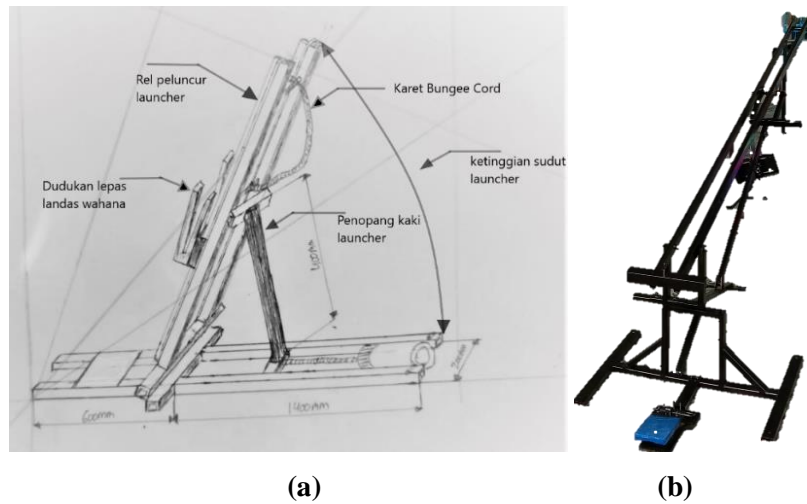
Untuk mengatasi hal tersebut diciptakan sistem pelontar yang praktis dan mampu memberi gaya lontar untuk lepas landas. Tujuan kajian atau studi dalam artikel ini adalah mencari nilai kecepatan minimal dan gaya lontar yang dibutuhkan.

Kajian teoritis dirangkum sebagai berikut; Anuar (Anuar, Akbar, *et al.*, 2023) melakukan desain konseptual untuk ketapel Unmanned Aerial Vehicle. Medar (Novakovic and Medar, 2013) mengadopsi tali elastis dalam rancangan ketapel bungee. Nugroho dan Dwi membuat pelontar tali karet dengan rangka khusus secara otomatis. Sehingga kebaruan dari penelitian ini adalah kemudahan efektifitas dan efisiensi dari pelontar wahana terbang dengan sistem modular.

## METODOLOGI

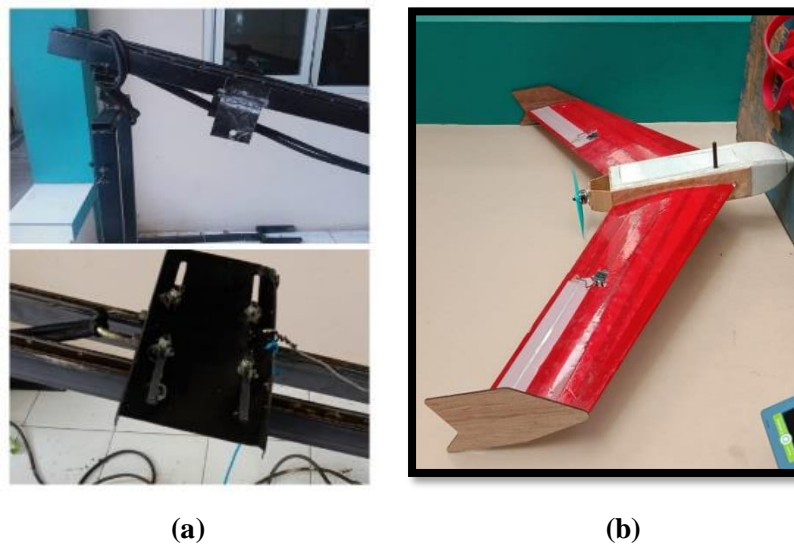
Sistem pelontar, Gambar 1, yang digunakan dalam penelitian adalah hasil rekayasa internal dengan inspirasi dari kompetisi nasional. Bahan yang digunakan untuk landasan luncur berupa batang baja silinder tahan karat. Fungsinya sebagai alas untuk dudukan beroda. Kemudian dudukan terbuat dari papan kayu dengan disain khusus dan dilengkapi bantalan roda. Kekuatan lontar diperoleh dari nilai modulus elastisitas tali karet sejenis *bungee cord* berserat.

Alat-alat yang digunakan untuk mengukur adalah timbangan, pemberat, mistar, *timer* atau jam waktu, dan sensor digital pada sistem wahana. Perangkat lainnya adalah komputer jinjing dan antena.



**Gambar 1.** Instrumen pelontar wahana (a) diagram sederhana dengan keterangan susunan; (b) tampak isometri.

Tali karet yang digunakan sebagai elemen pegas pelontar, diperlihatkan pada Gambar 2a berikut ini.



**Gambar 2.** Tampak dekat (a) sistem dudukan pelontar dengan tali karet; (b) wahana terbang berjenis *fixed wing* baling-baling belakang.

Obyek riset dalam Gambar 2b. berupa wahana terbang berjenis sayap tak berekor yang dikenal dengan istilah *fixed wing*. Dengan bobot total bersama dudukan seberat 2,8 kg.

Prosedur percobaan meliputi pengukuran kekuatan tarik dan tingkat elastisitas tali karet yang terpasang pada pelontar. Pengukuran dimensi panjang lintasan dan sudut lontar. Serta perhitungan kecepatan lepas landas dari data-data terukur sebelumnya.

Secara teoritis, perhitungan kinetika mengacu pada buku Keith Walker (Walker, 2014). Persamaan formula gerak dan konsep kekekalan energi ditunjukkan pada rincian berikut:

Gerak wahana terbang memiliki energi kinetik (KE) dari perubahan kecepatan, energi gesek dari kontak roda, dan energi potensial dari beda ketinggian ujung pelontar. kita akan mengubah

persamaan ini dengan parameter sudut dan massa tetap atau konstan, dengan energi awal didapat dari kekuatan pegas maka formula kekekalan energi menjadi:

Energi pegas = energi kinetik + energi gesek + energi potensial

$$\frac{1}{2} (K \cdot x^2) = \frac{1}{2} \cdot m (vt^2 - v_0^2) + F_x \cdot d + m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Keterangan simbol dijabarkan berikut ini:

$KE$  = energi kinetik dalam joules (J);  $K$  = konstanta karet pegas (N/m);  $m$  = massa (kg);  $v$  = *velocity* atau kecepatan (m/s);  $w$  = berat (kg);  $h$  = tinggi lontar (m);  $PE$  = energi potensial dalam joules (J);  $x$  = pertambahan panjang atau regangan (m);  $F$  = gaya beban (N);  $g$  = gravitasi ( $m/s^2$ );  $d$  yaitu panjang keseluruhan landasan (m).

Dari data pengukuran spesifikasi pelontar kemudian dilanjutkan perhitungan dengan rumus kekekalan energi di atas, nilai kecepatan minimal lepas landas akan didapatkan.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai gaya lontar, digunakan persamaan kesetimbangan dinamik pesawat saat bergerak di landasan pelontar dalam formula berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma f_x &= 0 \\ &= F - f_{k1} - f_{k2} - \text{gaya inersia} \end{aligned} \quad (2)$$

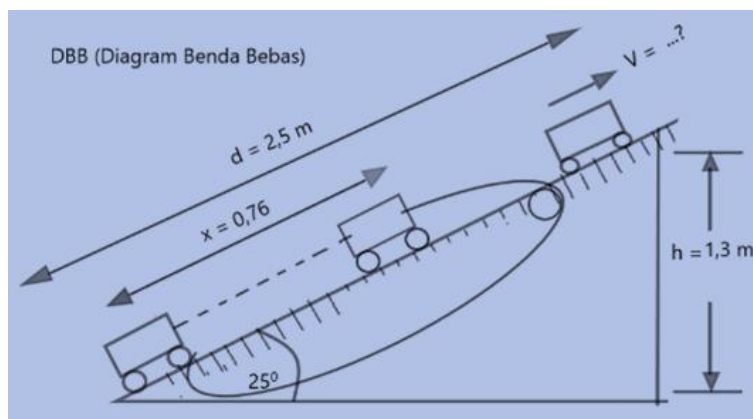
$$\begin{aligned} \Sigma f_y &= 0 \\ &= N_1 + N_2 - W \end{aligned} \quad (3)$$

Keterangan simbol meliputi  $f_k$  = gaya gesek roda dengan landasan;  $F$  = gaya dorong dari tali pegas;  $N$  = gaya normal; dan  $W$  = gaya berat. Kesemuanya dalam satuan Newton atau  $kg \cdot m/s^2$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu faktor dalam analisa kecepatan lepas landas wahana adalah mengenai perhitungan kecepatan lepas landas dan energi yang ada di pelontar pesawat, tujuan parameter perhitungan kecepatan lepas landas adalah untuk mengetahui kekuatan pelontar saat wahana mulai terbang.

Diagram benda bebas proses peluncuran ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram benda bebas gerak wahana meluncur di landasan pelontar.

Analisis grafik dan hasil perhitungan menggunakan rumus konservasi atau kekekalan energi ditunjukkan pada narasi berikut.

Sebagai awal pembahasan, disusun parameter awal perhitungan dan dirangkum dalam tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** Parameter Awal

Komponen Parameter	Nilai dan Satuan
Massa total (wahana + dudukan)	2,8 kg
Konstanta pegas (tali karet)	136 N/m
Koefisien gesek (roda gelinding)	0,4
Gravitasi	9,81 m/s
Panjang landasan	2,5 m
Tinggi ujung pelontar	1,3 m
Peregangan tali	0,76 m

Proses analisis data dengan perhitungan analitik

Energi pegas = energi kinetik + energi gesek + energi potensial

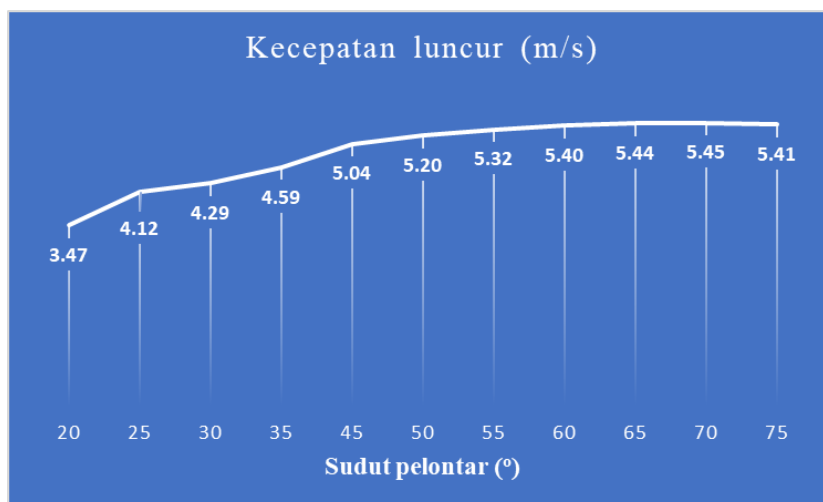
$$\frac{1}{2} (k \cdot x^2) = \frac{1}{2} \cdot m (Vo^2 - V^2) + fs \cdot d + m \cdot g \cdot h$$

Sehingga didapatkan nilai kecepatan lepas landas sebagai berikut

$$V = 4,12 \text{ m/s}$$

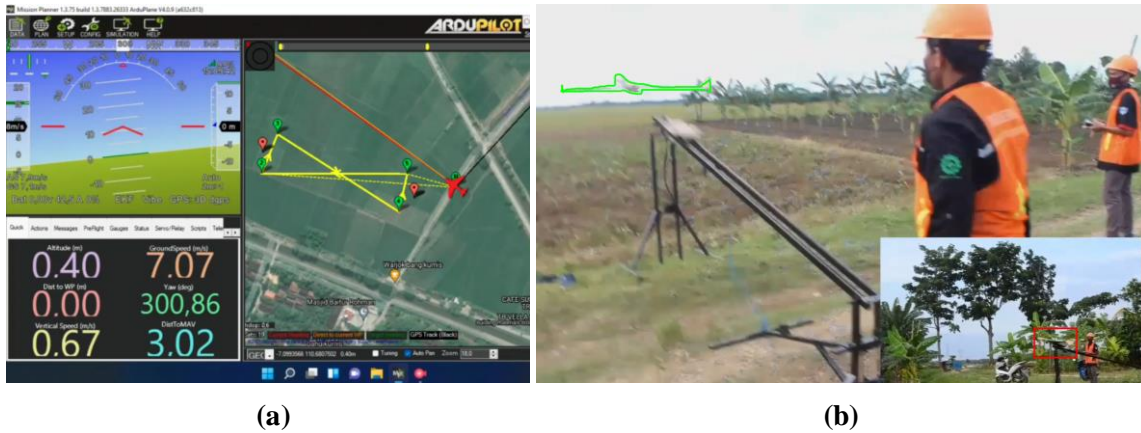
Didapatkan nilai kecepatan hasil hitung analitik sebesar 4,12 m/s. Nilai ini berhasil di maksimalkan dengan asumsi kondisi gesek yang lebih licin, konstanta pegas yang diperkuat serta optimasi pada panjang dan sudut pelontar. Bila mengacu pada hasil penelitian lain yang relevan pada Tabel 2, nilai ini merupakan kecepatan terendah. Meskipun begitu, hasil penelitian sudah berhasil diujicobakan dalam kondisi lingkungan nyata saat kompetisi tahun 2021.

Model matematik di atas kemudian dikembangkan dengan variasi sudut lontar antara landasan dengan permukaan tanah. Gambar 5 menampilkan nilai tertinggi kecepatan luncur adalah 5,45 m/s pada sudut 70°, setelah kenaikan nilai secara bertahap, kecepatan menurun pada sudut 75°.



**Gambar 5.** Plot data numerik nilai kecepatan luncur terhadap sudut pelontar

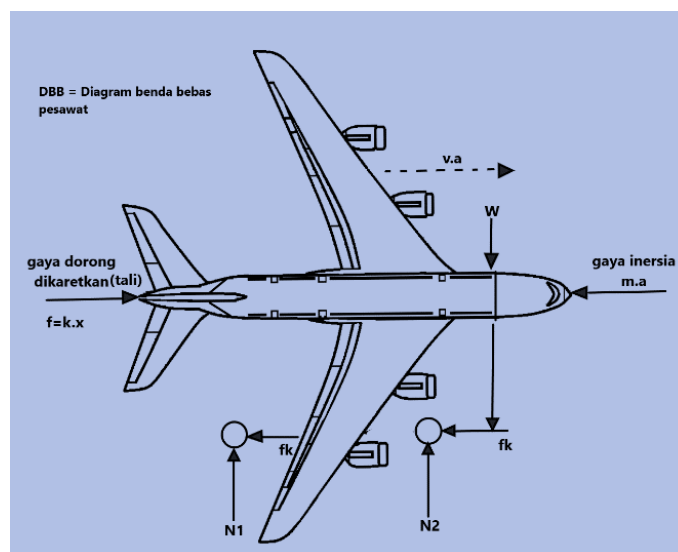
Sebagai pembandingan, nilai terukur pada sensor elektronik program ardupilot, yaitu sebesar 7,07 m/s. seperti diperlihatkan pada layar tampilan Gambar 6.



**Gambar 6.** Arsip lepas landas wahana terbang: (a) tampilan layar kendali ardupilot, dan (b) wahana Gatotkaca sesaat setelah diluncurkan dari pelontar.

Kecepatan wahana saat dilontarkan seperti *vertikal speed* (m/s) dan *ground speed* (m/s) dari data di *ardupilot* saat wahana mulai *take off* dari pelontar. Hasil dari uji terbang oleh sensor terpasang pada *flight control*. Sensor elektronik yang tertanam di dalam pesawat meliputi *barometer*, *accelerometer*, *gyro* dan *magnetometer*. Dari sensor tersebut dapat dibaca hasil uji terbang oleh *ground control station* menggunakan *software mission planner*. Kecepatan akhir yang dibutuhkan saat wahana meninggalkan dari pelontar adalah 4,54 m/s di ambil dari data *vertikal speed* (m/s) dari *ardupilot* dan kecepatan akhir selanjutnya adalah 14,02 m/s diambil dari data *ground speed* (m/s) dari *ardupilot* saat wahana meninggalkan pelontar dan motor *brushless* di wahana sudah menyala. Kekurangan dalam mengambil data kecepatan wahana di *ardupilot* adalah *vertikal speed* dan *ground speed* kecepataannya selalu berubah – rubah, karena wahana mencari titik referensi yang sudah ditentukan dari regulasi untuk melakukan *manuver* membentuk angka 8 saat wahana sudah lepas landas dari pelontar dan wahana mulai mendarat setelah membentuk angka 8 dalam waktu 3 menit (Nurhadi *et al.*, 2021). Untuk fase *take off* pesawat tersebut diwajibkan menggunakan *launcher* atau mesin pelontar demi keselamatan dan ketepatan. Sedangkan untuk fase *landing* menggunakan *belly landing*. Fase *take off* dan *landing* dapat dilakukan secara *autonomous*.

Diagram gerak kesetimbangan gaya pesawat ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Diagram benda bebas kesetimbangan gaya.

Kesetimbangan gaya pada bidang horizontal

$$\Sigma fx = 0$$

$$F = fk1 - fk2 - \text{gaya inersia} = 0$$

Dari formula di atas didapatkan nilai gaya lontar sebesar

$$F = 11,42 \text{ N}$$

Kekuatan lontar dari tali karet yaitu sebesar 11,42 Newton atau setara dengan 1,2 kg selama *limit* gerak akselerasi  $0,15 \text{ m/s}^2$ . Gaya lontar ini efektif untuk meluncurkan wahana terbang seberat total 3 kilogram dari landasan sepanjang 3 meter.

Dari data hasil penelitian terdahulu untuk kapasitas muat 2-3 kg dilakukan oleh Brayana, dkk. dan Anuar, dkk. Nilai efisiensi tenaga lontar dari sistem terbaru pelontar Gatotkaca Unwahas lebih unggul, dengan tingkat efisiensi tenaga untuk menghasilkan kecepatan minimum sekitar 30 - 50%.

Efektifitas pelontar pembanding yaitu dari penelitian Budiayanta, dkk. dimana didapatkan rasio kinerja gaya lontar setara dalam rentang 3 - 5 N.

### Studi Komparasi

Nilai gaya kekuatan karet dari sistem pelontar dan kecepatan lepas landas produk pelontar Gatotkaca Unwahas dibandingkan dengan produk atau pelontar sejenis lainnya. Data penelusuran artikel jurnal dikumpulkan dalam Tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2.** Komparasi Sistem

No.	Sistem Pelontar	PARAMETER				
		Spesifikasi	Sistem	TKT	Inovasi	Kinerja
1	UWH	$p \times t = 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ; muatan = 3 kg	Karet; 136 N/m	5	Kerangka modular	11 N ( <i>Ratio</i> : 2,7N); 7.1 m/s
2	A (Anuar, Akbar, <i>et al.</i> , 2023)	$p = 2 \text{ m}$ ; muatan = 3 kg	Karet; 35 N/m	4	<i>Electric release</i>	15 m/s
3	B (Brayana <i>et al.</i> , 2022)	muatan = 2 kg	Karet; 75-164 N/m	5	<i>Parallel cord</i>	25 m/s
4	C (Budiayanta <i>et al.</i> , 2023)	$p = 2.7 \text{ m}$ ; muatan = 22 kg	Karet; 535 N/m	6	<i>Cradle stopper</i>	49 N ( <i>Ratio</i> : 4,4 N)
5	D (Gökbel, Güllü and Ersoy, 2023)	$t = 0.25 \text{ m}$ ; muatan = 0.48 kg	Pegas; 1175 N/m	5	<i>Vertical launch</i>	9.7 m/s
6	E (Thanghom <i>et al.</i> , 2019)	$p = 1.8 \text{ m}$ ; muatan = 7 kg	Pegas; 2257 N/m	6	<i>Wing mounting</i>	10.7 m/s
7	F (Guruge, Kocer and Kayacan, 2016)	$p = 1.5 \text{ m}$ ; muatan = 2.5 kg	Pegas; 157 N/m	6	<i>Bluetooth connection</i>	10 m/s
8	G (Muliadi, 2018)	$p \times \Delta t = 3.9 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ ; muatan = 7.5 kg	(-)	6	<i>Aluminium material</i>	10.8 m/s
9	H (Siddiqui <i>et al.</i> , 2017)	muatan = 20kg	Pneumatik; 0.45 Mpa	5	<i>Optimized</i>	15 m/s
10	I (Sibiliska-Mroziewicz and Ładyżyńska-Kozdraś, 2018)	(na)	Magnet; (na)	8	<i>Magnetic rail</i>	16 m/s
11	J (Cheng <i>et al.</i> , 2022)	tekanan hidrolis = 120 bar; gaya dari puli = 3 kN	<i>Hydraulic &amp; cable pulley</i>	6	<i>Combine system</i>	15 m/s

Tabel komparasi tersebut di atas memberi gambaran masing-masing konsep desain dan sistem pelontar, tingkat kemampooterapan teknologi, inovasi khusus, dan kinerja kuat lontar serta kecepatan lepas landas wahana terbang.

Untuk sistem pelontar Unwahas gatotkaca memiliki keunggulan sistem rangka modular dan efisien.

## PENUTUP

### Simpulan

Kecepatan pelontaran wahana saat lepas landas menghasilkan nilai minimum sebesar 4,12 m/s dari hasil perhitungan kinetika gerak wahana di atas dudukan pelontar dan 7,1 m/s dari pengukuran ardupilot pada sistem elektronik tanam wahana terbang. Untuk gaya lontar pesawat dengan metode kesetimbangan dinamik tenaga karet dan gerak roda dudukan didapat kekuatan lontar sebesar 11,42 N. Sehingga dikatakan sistem pelontar Gatotkaca Unwahas menghasilkan daya yang efisien dan efektif untuk meluncurkan wahana terbang ke angkasa.

### Saran

Saran untuk penelitian lanjutan yaitu pengukuran parameter konstan dengan instrumen yang lebih canggih.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan pada anggota tim Aerospace Unwahas yang terdiri dari Angga Yunis, Nurmala Safitri, Dadang Setiawan, Irsyad Hafidzi, Faridhin, Agung Fanianto, Suryadi Pamungkas, Andika Galih Budi Utomo, Remy Igusti Redondo, Nidhom, Ahmad Hamami, Sodikin, Cikal Tegar, David Syaifudin, Syafiun Najid, Samsul Huda, dan Anjas Dwi Sasongko. Riset ini juga didasarkan atas dukungan dari Bagian Kemahasiswaan Universitas Wahid Hasyim Semarang.

## DAFTAR PUSTAKA

Anuar, K., Nugraha, I., *et al.* (2023) 'Rancang Bangun Sistem Pelontar Tipe Catapult Untuk Wahana Terbang Tipe Fixedwing Atha Mapper 2300', *Teknologi*, 15(1), p. 11. Available at: <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.15.1.13-24>.

Anuar, K., Akbar, M., *et al.* (2023) 'The design of bungee cord type launcher system for Serindit V-2 UAV', *AIP Conference Proceedings*, 2568(March 2023). Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0115445>.

Brayan, G. *et al.* (2022) 'Diseño y construcción de una plataforma de lanzamientos con cuerda elástica para drones de ala fija', (January), pp. 0–7.

Budiyanta, A.S. *et al.* (2023) 'Design and Testing of a Bungee Cord Based Launcher for LSU-02 UAV', *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 16(3), pp. 114–120. Available at: <https://doi.org/10.29122/mipi.v16i3.5518>.

Cheng, N. *et al.* (2022) 'Design, Analysis and Testing of a Hydraulic Catapult System', *IEEE Access*, 10(June), pp. 67482–67492. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3185296>.

Gökbel, E., Güllü, A. and Ersoy, S. (2023) 'Improvement of UAV: design and implementation on launchability', *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95(5), pp. 734–740. Available at: <https://doi.org/10.1108/AEAT-06-2022-0153>.

Guruge, P., Kocer, B.B. and Kayacan, E. (2016) 'A novel automatic UAV launcher design by using bluetooth low energy integrated electromagnetic releasing system', *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, R10-HTC 2015 - co-located with 8th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2015* [Preprint], (February). Available at: <https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2015.7391861>.

Muliadi, J. (2018) 'An empirical method for the catapult performance assessment of the BPPT-developed UAVs', *Journal of Physics: Conference Series*, 1130(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1130/1/012033>.

Novakovic, Z. and Medar, N. (2013) 'Analysis of a UAV Bungee Cord Launching Device', *Scientific Technical Review*, 63(3), pp. 41–47.

Nurhadi, H. *et al.* (2021) *PEDOMAN KONTES ROBOT TERBANG INDONESIA TAHUN*

---

2021, *Pusat Prestasi Nasional Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan*. Edited by D. Fitriani and F. Fitriana. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

Sibilska-Mroziewicz, A. and Ładyżyńska-Kozdraś, E. (2018) 'Mathematical model of levitating cart of magnetic UAV catapult', *Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Poland)*, 56(3), pp. 793–802. Available at: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.56.3.793>.

Siddiqui, B.A. *et al.* (2017) 'Computer Aided Modeling and Simulation of Pneumatic U.a.V. Catapult Mechanism', (March), pp. 24–25.

Thanghom, P. *et al.* (2019) 'Spring Drive UAV Launcher', p. 2. Available at: <https://doi.org/10.3390/proceedings2019039002>.

Walker, K.M. (2014) *Applied Mechanics for Engineering Technology*. 8th edn, *British Library Cataloguing-in-Publication Data*. 8th edn. Pearson New International Edition.