

Pitch propeller quadcopter tipe x terhadap thrust dan voltage motor untuk mendukung ketahanan wilayah

Benedictus Mardwianta, Abdul Haris Subarjo*, Nurfi Ahmadi, Daniel Setya Budi
Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto

Article Info

Article history:

Received February 27, 2022
Accepted April 28, 2022
Published May 1, 2022

Keywords:

Quadcopter
UAV
Thrust
Propeller
Voltage motor

ABSTRAK

Quadcopter berukuran kecil dan inersia drone yang rendah memungkinkan penggunaan sistem kontrol penerbangan sederhana, dengan kepraktisan *Quadcopter* diharapkan dapat dipergunakan untuk penanganan bencana sehingga dapat meningkatkan ketahanan wilayah. *Quadcopter* yang dikeluarkan oleh perusahaan tidak dapat diubah-ubah. penelitian ini dengan merakit *quadcopter* sendiri dan melakukan perubahan pada *pitch propeller* untuk mengetahui pengaruh *thrust* dan *thrust* motor pada *quadcopter* tipe x. Dari hasil penelitian dan perhitungan yang dilakukan, *thrust* yang dihasilkan dengan sudut puntir (*pitch*) 50° lebih besar dibandingkan dengan sudut puntir (*pitch*) 43° pada setiap pergerakannya sehingga semakin besar sudut puntir (*pitch*), maka semakin besar pula *thrust* yang dihasilkan oleh *propeller* tersebut. *Voltage* yang masuk pada setiap motor akan berbeda tergantung pada pergerakannya. Jadi, semakin besar *voltage* yang masuk pada motor *brushless* maka semakin tinggi putaran motornya sehingga *thrust* yang dihasilkan juga semakin besar.



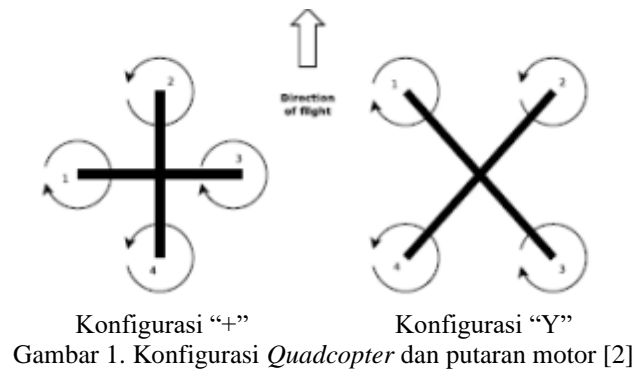
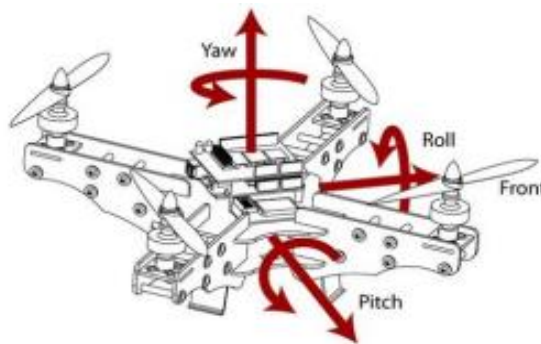
Corresponding Author:

Abdul Haris Subarjo,
Program Studi Teknik Mesin,
Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto,
Jl. Majapahit Blok - R Lanud Adisutjipto Yogyakarta
Email: * ab.haris.79@gmail.com

1. PENGANTAR

Quadcopter merupakan *drone multirotor* menggunakan empat motor dan dikendalikan oleh pengemudi menggunakan alat pengontrol penerbangan. *Quadcopter* digunakan dalam berbagai kebutuhan, seperti di penelitian, eksplorasi, citra, serta observasi [1]. Pada *Quadcopter* yang menggunakan empat buah motor penggerak untuk menerbangkannya, dua buah motor berputar searah jarum jam dan dua buah motor lainnya berputar berlawanan arah jarum jam dilengkapi dengan *propeller* (baling-baling) untuk menghasilkan gaya angkat. Pada *quadcopter* ada dua kemungkinan konfigurasi yang dipakai yaitu konfigurasi “+” dan konfigurasi “x” [2].

Pergerakan pada *quadcopter* yaitu *hovering*, *roll rotation*, *pitch rotation*, dan *yaw rotation*. pergerakan ini dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu: gaya angkat motor beserta arahnya, kecepatan putar motor, dan momen pada sayap *quadcopter*. Berikut merupakan penjelasan gerakan pada *quadcopter*: *Hovering* atau *Throttle*, gerak dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan kecepatan semua *propeller* dalam jumlah yang sama, *Roll* gerak dilakukan dengan menambah atau mengurangi kecepatan salah satu *propeller* yang kiri atau yang kanan, *Pitch* dapat dilakukan dengan menambah atau mengurangi kecepatan salah satu *propeller*, yang depan atau yang belakang, *Yaw* ini dapat dilakukan dengan menambah atau mengurangi *propeller* kanan depan dan kiri belakang atau kanan belakang dan kiri depan secara bersamaan [2]. Pergerakan *quadcopter* dikontrol dengan mengatur kecepatan dari masing-masing *rotor*. Variasi kecepatan rotor ini menghasilkan pergerakan membelok, miring, dan berputar ke semua arah pada bidang referensi [3].

Gambar 1. Konfigurasi *Quadcopter* dan putaran motor [2]Gambar 2. Pergerakan *Quadcopter* [3]

Komponen utama pada quadcopter dibagi menjadi dua bagian yaitu, komponen elektrik dan mekanik. Komponen mekanik secara sederhana adalah kerangka quadcopter dan aktuator berupa brushless motor dengan baling-balingnya. Kerangka *quadcopter* merupakan tempat terpasangnya keempat rotor dan komponen-komponen elektrik yang berhubungan dengan *actuator* [3].

Quadcopter dapat digunakan untuk berbagai keperluan dan manfaat, salah satu manfaat *quadcopter* adalah untuk penyemprotan *disinfektan* sebagai upaya *preventif* dalam mencegah penularan COVID-19. Di beberapa tempat penyemprotan *disinfektan* masih dilakukan oleh petugas secara manual dengan cara mengelilingi seluruh bagian gedung. Dengan perkembangan teknologi di era modern *quadcopter* dapat membantu dan mempermudah pekerjaan penyemprotan menggunakan pengendali jarak jauh [4].

Salah satu penelitian penggunaan *drone* jenis *quadcopter* dengan 4 baling-baling yang disinkronkan dengan *frame* yang dikonfigurasi berbentuk (X). Penelitian *drone* sebelumnya menggunakan *google maps* dan terbang secara mandiri sesuai dengan *waypoint* yang diarahkan oleh aplikasi pengontrol *android*, selanjutnya perintah penerbangan *drone* dilakukan secara manual dengan menggunakan aplikasi dempul di laptop, dalam penelitian ini *drone* menggunakan kontrol berbasis *android* lengkap dengan *fitur tracking*. Aplikasi *android* memungkinkan penggunaan kode dasar komputer yang dapat didistribusikan secara *open source* dengan aplikasi yang mendukung pengontrol penerbangan serta aplikasi pelacakan yang merupakan aplikasi yang dirancang sendiri menggunakan komunikasi *Internet of Things (IoT)* [5]. *Quadcopter* juga termasuk *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*.

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau *drone* juga dapat mengantarkan *survival kit* ke beberapa tempat yang terisolasi akibat bencana alam secara mandiri. Pengendalian dilakukan melalui *software Mission Planner*, yang kemudian dikirimkan ke *drone* menggunakan *telemetry 433 MHz*. *Survival kit* yang dibawa oleh *drone* akan diturunkan menggunakan *servo* ke lokasi yang telah ditentukan. *Vertical Take-Off Landing (VTOL)* untuk *Drop Kits* telah berhasil menjalankan misi untuk mengantarkan *survival kit* ke 4 lokasi berbeda dalam satu penerbangan. Dengan menggunakan *Telemetry 433 MHz*, *drone* dapat menempuh jarak maksimum 120 meter dalam waktu 5 menit 10 detik dengan kapasitas baterai 9 Ah [6].

Untuk menjangkau lokasi bencana alam melalui udara diperlukan ruang cukup luas dalam melakukan pendaratan serta rentan benturan jika diterbangkan pada ketinggian yang rendah untuk tujuan pengamatan lokasi. Penggunaan *quadcopter* merupakan salah satu alternatif karena tidak memerlukan ruang yang luas dan dapat dilengkapi dengan peralatan yang diperlukan [7]. Penggunaan *quadcopter* juga dapat untuk melakukan pencarian korban *pasca* terjadinya bencana, untuk lebih mempermudah pendeteksian korban menggunakan metode pengolahan *citra digital Haar Cascade Classifier* dan aplikasinya pada pesawat tanpa

awak AR.Drone. Haar Cascade Classifier merupakan salah satu teknologi dari *computer vision* yang terdapat pada *library / pustaka Open CV* [8].

Penggunaan *quadcopter* juga digunakan untuk melakukan pemetaan potensi risiko lahan yang dampak dari kejadian bencana [9]. Pemetaan juga dapat dilakukan terhadap daerah rawan banjir [10]. Pemanfaatan *drone* UAV juga dapat digunakan untuk mengatasi kebakaran hutan. Salah satu solusi untuk menanggulangi hal tersebut adalah membuat *robot Drone* [11]. UAV digunakan oleh BASARNAS (Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan), BNPD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah), dan instansi lainnya dalam misi pencarian dan penyelamatan bencana atau pun kecelakaan [12]. Hal tersebut merupakan contoh pemanfaatan *Quadcopter* tersebut dapat untuk mendukung ketahanan wilayah.

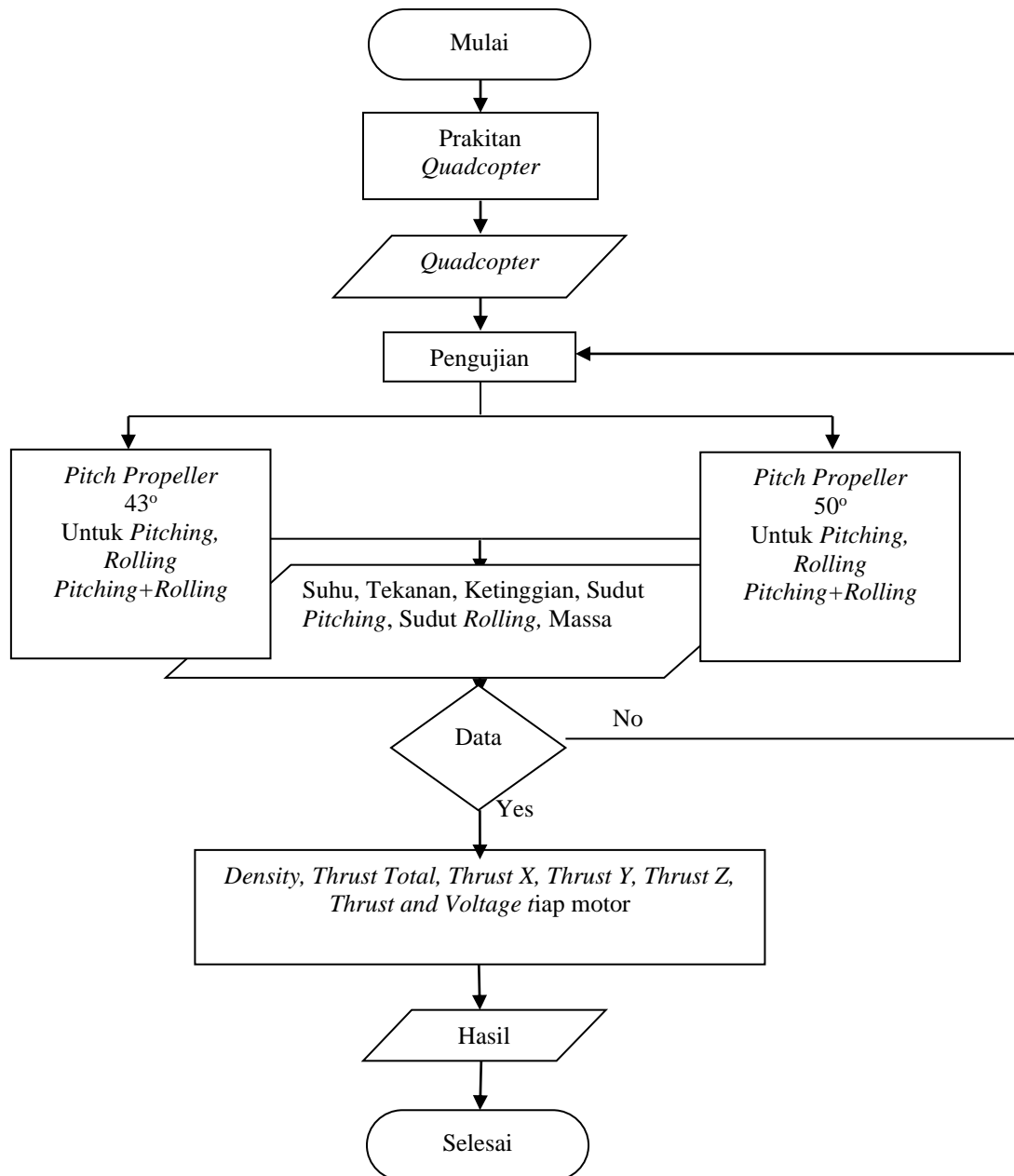
Definisi ketahanan wilayah pada situasi bencana adalah ketangguhan masyarakat daerah dalam mengantisipasi dan meminimalisir kekuatan yang merusak, melalui adaptasi. Mampu mengelola dan menjaga struktur dan fungsi dasar dalam kehidupan sosial sehingga dapat membangun kehidupan menjadi normal kembali *pasca* kerusakan dengan cepat [13]. Masyarakat yang tahan terhadap bencana yaitu: kapasitas masyarakat untuk dapat mengurangi terhadap risiko/ kerusakan melalui mitigasi atau adaptasi, kapasitas masyarakat untuk mempertahankan fungsi dasar dan struktur di dalam keadaan bencana, kapasitas untuk memulihkan diri *pasca* bencana [14]. Ketahanan wilayah merupakan awal terwujudnya ketahanan nasional suatu negara. Bencana alam menjadi salah satu hal yang mempengaruhi ketahanan wilayah [15]. Penggunaan UAV untuk pemantauan dan penanganan bencana alam diharapkan dapat meningkatkan Ketahanan Wilayah, karena dapat menjangkau daerah yang rawan bencana dan memiliki ruang yang sempit serta memiliki potensi resiko yang bagi personil penyelamat.

Bencana merupakan suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia, sehingga dapat mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis [16].

Salah satu penelitian sebelumnya terkait *quadcopter* dilakukan oleh Swamardika, I. A, dkk (2014) yang berjudul Rancang Bangun *Quadcopter Robot* Sebagai Alat Pemantau Jarak Jauh Kawasan Lingkungan Bencana, dengan melakukan perancang dan pembangunan *quadcopter* yang dikendalikan oleh remote control dan mampu terbang pada ketinggian 10 sampai 15 meter dari permukaan tanah [17]. Penelitian lain dilakukan oleh Andika, I. G (2018) dengan judul *Quadcopter Obstacle Avoidance* Dengan Sensor Inframerah Untuk Pemantauan Bencana alam Melalui Udara, yaitu dengan penelitian pengembangan alternatif *quadcopter* yang mampu menghindari halangan berupa gerakan *feedback* ke arah berlawanan dari arah halangan terdeteksi [7]. Pada *quadcopter* setidaknya terdapat tiga fase, yaitu lepas landas, pendaratan dan penerbangan, daya dorong tenaga yang sangat tinggi diperlukan selama lepas landas untuk mengangkat beban pesawat, sehingga membutuhkan baling-baling yang disesuaikan dengan kecepatan penerbangan rendah, Untuk penerbangan jelajah, baling-baling *pitch* yang lebih besar dituntut untuk mempertahankan optimal penerbangan. Karena kecepatan yang dihasilkan sangat tinggi, pemilihan baling-baling dirata-ratakan [18]. Sedangkan yang membedakan penelitian ini dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan adalah dengan cara merakit *quadcopter* sendiri dan mengetahui pengaruh variasi *pitch propeller* terhadap *thrust*, mengetahui pengaruh variasi *pitch propeller* terhadap *voltage* motor *quadcopter*, terdapat data yang berasal dari penelitian tidak dipublikasikan tersimpan di perpustakaan oleh Daniel Setya Budi yang juga merupakan salah satu penulis artikel jurnal ini [19].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan dan pengujian *Quadcopter* dilakukan dengan melalui beberapa tahapan, tahap awal dilakukan perancangan pembuatan *quadcopter*, setelah *quadcopter* jadi tahap selanjutnya dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian terbang dengan *Pitch Propeller* dengan sudut 43° Untuk gerakan *Pitching*, *Rolling*, *Pitching+Rolling*. Pengujian juga dilakukan dengan *Pitch Propeller* pada sudut 50° Untuk melakukan gerakan *Pitching*, *Rolling*, *Pitching+Rolling*. Yang diperhatikan pada saat uji terbang *quadcopter* adalah Suhu, Tekanan, Ketinggian, Sudut *Pitching*, Sudut *Rolling*, dan Massa. Dari hasil pengujian *quadcopter* tersebut dapat dihasilkan data *Density*, *Thrust Total*, *Thrust X*, *Thrust Y*, *Thrust Z*, *Thrust and Voltage* tiap motor. Secara skematis tahap perancangan dan pengujian *quadcopter* dapat digambarkan melalui gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Kerapatan Udara

Alat Barometer dan Termometer digunakan untuk mengukur suhu ruangan/suhu luar ruangan dan mengukur tekanan. *Density* adalah massa per zat volume, pada suhu dan tekanan tertentu. *Density* dinyatakan dalam gram atau kilogram per meter kubik (kg/m^3) atau dalam *imperial pounds per cubic feet* (lb/ft^3) (Roskam dalam Budi, D. S., 1997) [19].

Pada perhitungan kerapatan udara menggunakan persamaan (1) [19]

$$\rho = \frac{P}{R \times T} \dots\dots\dots(1)$$

$$\rho = \frac{99941 Pa}{\frac{J}{287,1 \frac{Kg}{K} \times (28 + 273) K}}$$

$$\rho = 1,156 \frac{kg}{m^3}$$

3.2 Perhitungan Thrust

Thrust adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh (*powerplant*) / baling-baling, dihasilkan oleh *rotor* yang berputar pada kecepatan tertentu [20].

Pada perhitungan *Thrust*, dimana:

$$\rho = 1,156 \frac{kg}{m^3}$$

$$m = 1,115 \text{ kg}$$

$$h_o = 4,35 \text{ m}$$

$$h_f = 4,35 \text{ m}$$

$$\Theta = 4^\circ$$

$$D_{propeller} = 9,4 \text{ inch} \longrightarrow 9,4 \times 2,54 \text{ cm} = 23,875 \text{ cm} \longrightarrow 0,23875 \text{ m}$$

$$A = \pi \times r \times r$$

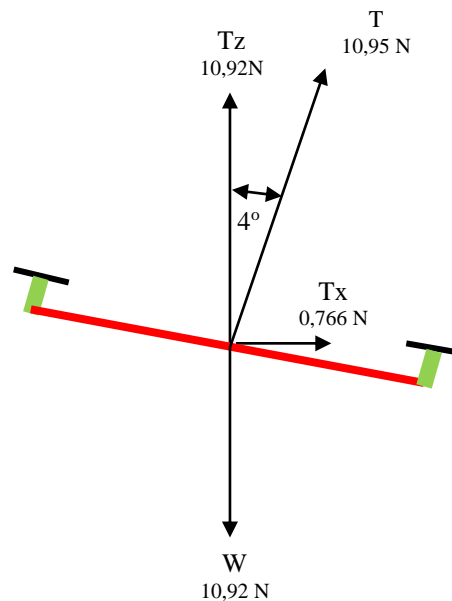
$$= 3,14 \times 0,119 \text{ m} \times 0,119 \text{ m}$$

$$= 0,044 \text{ m}^2$$

$$Thrust = \rho \cdot A \cdot 2 \cdot g \cdot (h_f - h_o) + \frac{m \cdot g}{\cos(\theta) \cdot \cos(\varphi)} \dots\dots\dots(2)$$

$$= 1,156 \frac{kg}{m^3} \times 0,044 \text{ m}^2 \times 2 \times 9,8 \frac{m}{s^2} (4,35 \text{ m} - 4,35 \text{ m}) + \frac{1,115 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}{\cos(4) \cdot \cos(0)}$$

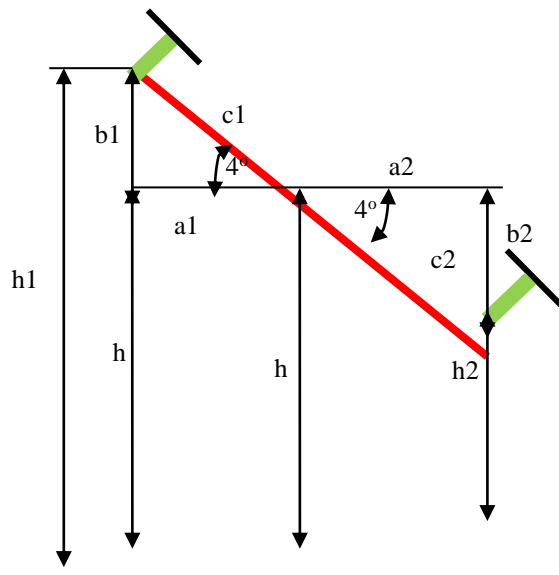
$$= 10,95 \text{ N}$$



Gambar 4. vektor arah gaya *quadcopter*

$$\begin{aligned}
 Thrust\ x &= T \sin 4^\circ \\
 &= 10,95\text{ N} \times 0,07 \\
 &= 0,766\text{ N} \\
 Thrust\ y &= T \cos 4^\circ \cdot \sin 0^\circ \\
 &= 10,95\text{ N} \times 0,9976 \times 0 \\
 &= 0\text{ N} \\
 Thrust\ z &= T \cos 4^\circ \\
 &= 10,95\text{ N} \times 0,9976 \times 1 \\
 &= 10,92\text{ N}
 \end{aligned}$$

3.3 Perhitungan *Thrust* Setiap Motor



Gambar 5. Ketinggian tiap motor

Untuk pergerakan *pitching* pada *quadcopter*, ketinggian motor 1 sama dengan 2, sedangkan ketinggian motor 3 sama dengan motor 4. Sehingga:

$$\begin{aligned}
 b1 &= 0,1815\text{ m} \times \sin 4^\circ & b2 &= 0,1815\text{ m} \times \sin 4^\circ \\
 &= 0,0127\text{ m} & &= 0,0127\text{ m} \\
 h1 &= h + b1 & h2 &= h - b2 \\
 &= 4,35\text{ m} + 0,0127\text{ m} & &= 4,35\text{ m} + 0,0127\text{ m} \\
 &= 4,3627\text{ m} & &= 4,3373\text{ m}
 \end{aligned}$$

Thrust motor 1

$$\begin{aligned}
 &11,156 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,044\text{ m}^2 \times 2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (4,3373\text{ m} - 4,35\text{ m}) + \frac{0,27875\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\cos 4^\circ} \\
 &= 2,726\text{ N}
 \end{aligned}$$

Thrust motor 2

$$\begin{aligned}
 &1,156 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,044\text{ m}^2 \times 2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (4,3373\text{ m} - 4,35\text{ m}) + \frac{0,27875\text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\cos 4^\circ} \\
 &= 2,726\text{ N}
 \end{aligned}$$

Thrust motor 3

$$1,156 \frac{kg}{m^3} \times 0,044 m^2 \times 2 \times 9,8 \frac{m}{s^2} (4,3627 m - 4,35 m) + \frac{0,27875 kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}{\cos 4^\circ}$$

$$= 2,751 N$$

Thrust motor 4

$$1,156 \frac{kg}{m^3} \times 0,044 m^2 \times 2 \times 9,8 \frac{m}{s^2} (4,3627 m - 4,35 m) + \frac{0,27875 kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}{\cos 4^\circ}$$

$$= 2,751 N$$

Tabel 1. Nilai Thrust Masing-Masing Motor dan Thrust Total

Motor	Thrust	T _x	T _y	T _z
1	2,726 N	0,191 N	0 N	2,719 N
2	2,726 N	0,191 N	0 N	2,719 N
3	2,751 N	0,192 N	0 N	2,744 N
4	2,751 N	0,192 N	0 N	2,744 N
Total	10,95 N	0,766 N	0 N	10,92 N

3.4 Perhitungan kecepatan

Pada perhitungan ini menggunakan persamaan (3)[20].

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho A}} \dots\dots\dots (3)$$

$$v_{motor1} = \sqrt{\frac{2,726N}{\frac{1,156kg}{m^3} \cdot 0,044m^2}}$$

$$= 7,319 \text{ m/s}$$

$$v_{motor2} = \sqrt{\frac{2,726N}{\frac{1,156kg}{m^3} \cdot 0,044m^2}}$$

$$= 7,319 \text{ m/s}$$

$$v_{motor3} = \sqrt{\frac{2,751N}{\frac{1,156kg}{m^3} \cdot 0,044m^2}}$$

$$= 7,354 \text{ m/s}$$

$$v_{motor4} = \sqrt{\frac{2,751N}{\frac{1,156kg}{m^3} \cdot 0,044m^2}}$$

$$= 7,354 \text{ m/s}$$

3.5 Perhitungan voltage

Pada perhitungan ini menggunakan persamaan (4) [20].

$$voltage_{motor} = \frac{1}{k_{v_{motor}}} \cdot \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \Pi \cdot r} \dots\dots\dots(3)$$

$$voltage_{motor1} = \frac{1}{980 \frac{rpm}{volt}} \cdot \frac{60 \times 7,319 \frac{m}{s}}{2 \times 3,14 \times 0,119m}$$

$$= 0,6 \text{ volt}$$

$$voltage_{motor2} = \frac{1}{980 \frac{rpm}{volt}} \cdot \frac{60 \times 7,319 \frac{m}{s}}{2 \times 3,14 \times 0,119m}$$

$$= 0,6 \text{ volt}$$

$$voltage_{motor3} = \frac{1}{980 \frac{rpm}{volt}} \cdot \frac{60 \times 7,354 \frac{m}{s}}{2 \times 3,14 \times 0,119m}$$

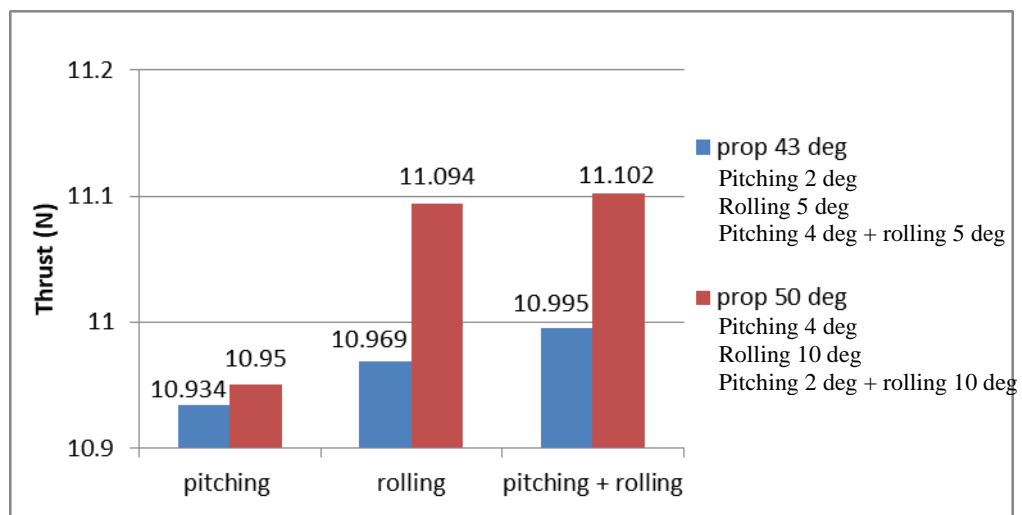
$$= 0,602 \text{ volt}$$

$$voltage_{motor4} = \frac{1}{980 \frac{rpm}{volt}} \cdot \frac{60 \times 7,354 \frac{m}{s}}{2 \times 3,14 \times 0,119m}$$

$$= 0,602 \text{ volt}$$

3.6 Thrust

Thrust adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller*. Pada pengujian ini menggunakan *propeller* dengan sudut puntir (*pitch*) 43° dan 50°. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil *thrust* dapat dilihat pada gambar 6.



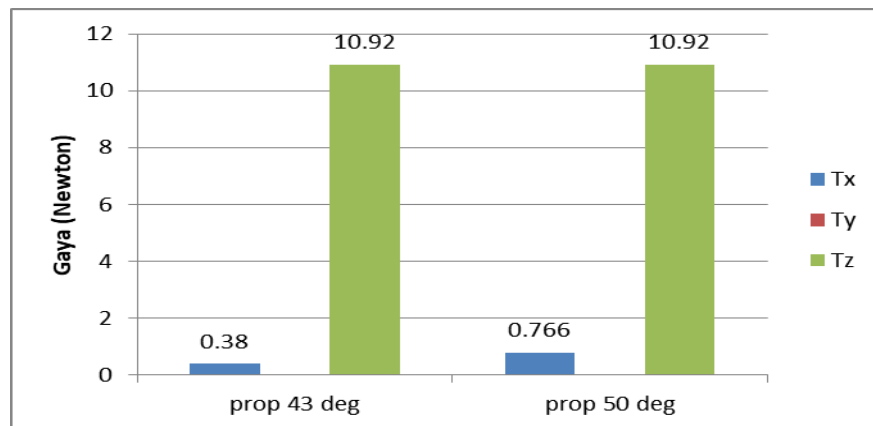
Gambar 6 Grafik *Thrust*

Dari grafik 1 dapat dilihat bahwa, quadcopter menghasilkan sudut yang berbeda-beda pada setiap pergerakannya. *Quadcopter* menggunakan sudut puntir (*pitch*) 50° menghasilkan sudut *pitching quadcopter*

sebesar 4° , *rolling* sebesar 10° , *pitching+rolling* 2° dan 10° . Quadcopter menggunakan sudut puntir (*pitch*) 43° menghasilkan sudut *pitching quadcopter* sebesar 2° , *rolling* sebesar 5° , *pitching+rolling* 4° dan 5° . Sehingga *thrust* yang dihasilkan pada setiap pergerakan lebih besar menggunakan propeller sudut puntir (*pitch*) 50° dibandingkan dengan menggunakan propeller sudut puntir (*pitch*) 43° . Hal ini disebabkan karena propeller dengan sudut puntir 50° menghisap udara lebih banyak dan menghasilkan *thrust* yang lebih besar dibandingkan dengan propeller 43° . Sehingga semakin besar sudut puntir dari propeller dan sudut kemiringan quadcopter, maka *Thrust* yang dihasilkan akan semakin besar.

3.7 Gerakan Pitching

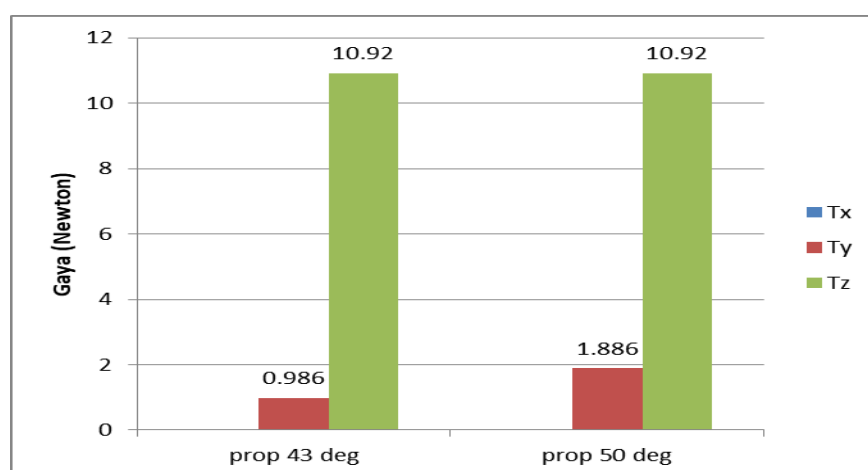
Pitching merupakan gerakan mengangguk atau gerakan keatas dan kebawah. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Pergerakan Pitching

Pada saat melakukan gerakan *pitching* nilai Tx dari propeller 50° sebesar 0,766 N lebih besar dibandingkan dengan propeller 43° . Sehingga quadcopter yang menggunakan propeller 50° akan bergerak maju lebih cepat dibandingkan dengan propeller 43° . nilai Ty pada gerakan *pitching* 0 N dikarenakan gerakan *pitching* merupakan gerakan yang berpusat pada sumbu y sehingga nilai dari Ty adalah 0 N. Nilai Tz yang dihasilkan oleh kedua propeller dari pergerakan ini bernilai sama, yakni 10,92 N. Ini dikarenakan, pada saat melakukan gerakan *pitching quadcopter* tidak mengalami perubahan ketinggian sehingga quadcopter terbang sambil mempertahankan ketinggiannya.

3.8 Gerakan Rolling

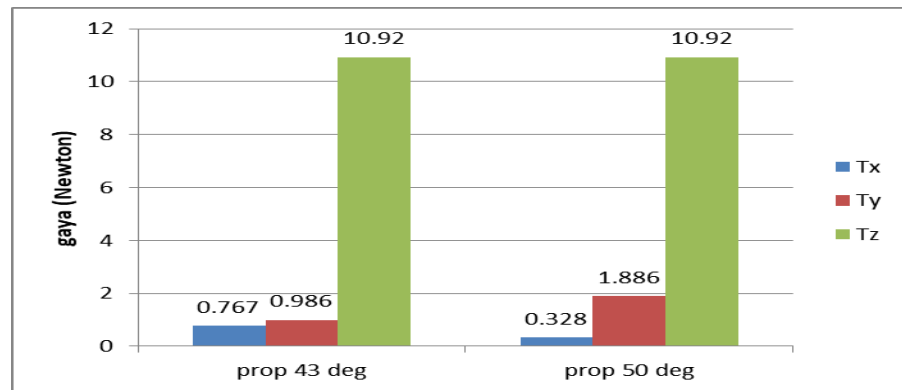


Gambar 8. Grafik Gerakan rolling

Rolling merupakan gerakan berguling. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil seperti pada gambar 8. Pada saat melakukan gerakan *rolling* nilai Tx sama dengan 0 N. Hal ini dikarenakan gerakan *rolling* berpusat pada sumbu x sehingga nilai Tx akan sama dengan 0. Nilai Ty pada propeller sudut puntir

(pitch) 50° sebesar 1,886 N lebih besar dibandingkan dengan *propeller* sudut puntir (pitch) 43°. Sehingga *quadcopter* yang menggunakan *propeller* sudut puntir (pitch) 50° akan bergerak berguling lebih cepat dibandingkan dengan *propeller* sudut puntir (pitch) 43°. Nilai T_z yang dihasilkan oleh kedua *propeller* dari pergerakan ini bernilai sama, yakni 10,92 N. Ini dikarenakan, pada saat melakukan gerakan *pitching quadcopter* tidak mengalami perubahan ketinggian sehingga *quadcopter* terbang sambil mempertahankan ketinggiannya.

3.9 Gerakan Pitching + Rolling

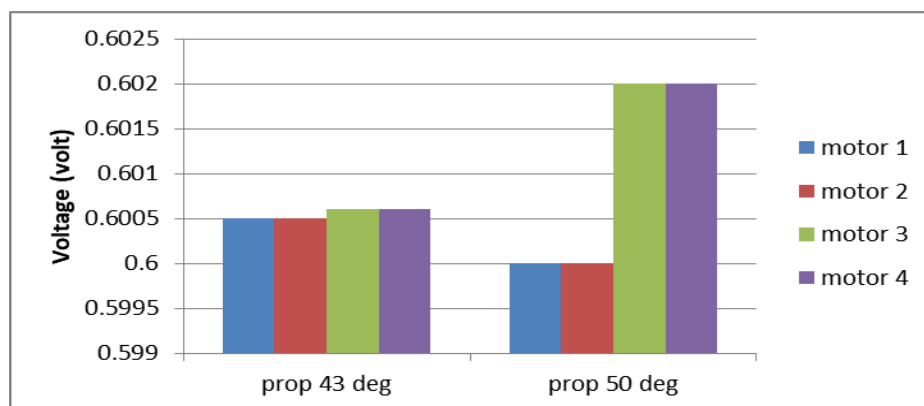


Gambar 9. Grafik Gerakan Pitching + Rolling

Pitching + rolling merupakan gerakan gabungan dari *pitching* dan *rolling*. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil seperti pada gambar 8. Pada saat melakukan gerakan *pitching + rolling* nilai T_x dengan *propeller* sudut puntir (pitch) 43° lebih besar dibandingkan *propeller* sudut puntir (pitch) 50° dikarenakan sudut *pitching quadcopter* yang dibentuk pada saat melakukan gerakan ini lebih besar sehingga nilai T_x *propeller* sudut puntir (pitch) 43° lebih besar dibandingkan *propeller* sudut puntir (pitch) 50°. Begitu juga sebaliknya dengan nilai T_y karena sudut *rolling* yang dibentuk *quadcopter* dengan *propeller* sudut puntir (pitch) 50° lebih besar sehingga nilai T_y lebih besar dibandingkan dengan *propeller* sudut puntir (pitch) 43°. Nilai T_z yang dihasilkan oleh kedua *propeller* dari pergerakan ini bernilai sama, yakni 10,92 N. Ini dikarenakan, pada saat melakukan gerakan *pitching quadcopter* tidak mengalami perubahan ketinggian sehingga *quadcopter* terbang sambil mempertahankan ketinggiannya. Jadi, pada saat melakukan gerakan *pitching + rolling*, pergerakan dengan *propeller* sudut puntir (pitch) 43° bergerak lebih cenderung ke arah depan. Untuk *Propeller* sudut puntir (pitch) 50°, pergerakan *quadcopter* lebih cenderung melakukan gerakan *rolling* (berguling).

3.10 Voltage

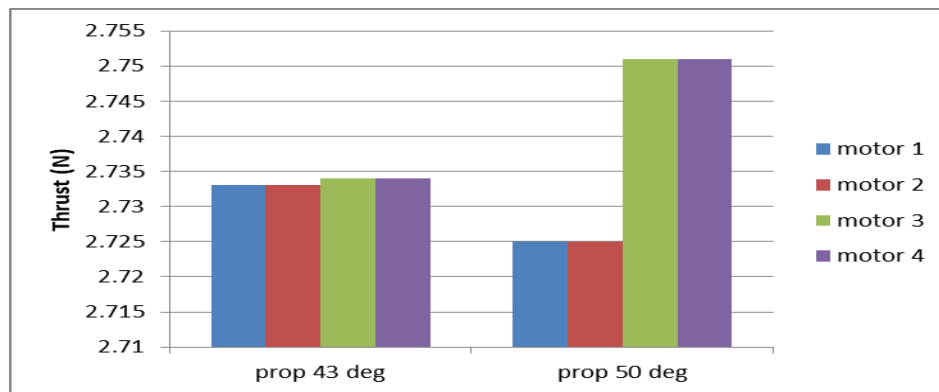
Pada saat *quadcopter* melakukan gerakan *pitching*, *rolling*, *pitching + rolling*. Tegangan yang diberikan oleh *flight controller* kedalam ESC untuk memutar motor akan berbeda pada setiap motornya tergantung pada pergerakannya. Pada hasil perhitungan dapat dilihat sebagai contoh pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Voltage setiap motor

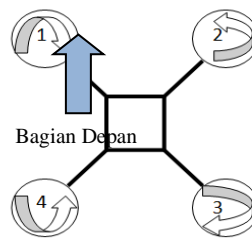
Pada gambar 10, merupakan salah satu contoh pergerakan *pitching*. Karena pada pergerakan *pitching quadcopter* motor 3 dan motor 4 akan ditambahkan sedikit tegangannya untuk menaikkan putaran dari *rotor*

dan menaikkan nilai *thrust* pada setiap motor. Sehingga dapat dilihat pada grafik 6, thrust yang dihasilkan pada *quadcopter*.



Gambar 11. Grafik thrust tiap motor

Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa, dengan perbedaan *voltage* yang diberikan pada motor maka *thrust* yang dihasilkan juga berbeda pada setiap motornya tergantung pada pergerakannya. Penomoran motor pada *quadcopter* dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. penomoran motor *quadcopter*

Dari hasil pengujian terhadap *quadcopter* terlihat bahwa rancangan *quadcopter* memiliki *thrust* atau gaya dorong oleh kerja mesin yang mendorong udara kebelakang agar pesawat dapat melaju kedepan. Gaya tersebut tercipta oleh kinerja mesin pesawat yang menciptakan propulsi dan mendorong pesawat. Selain nilai trus hasil perancangan *quadcopter* ini juga memiliki gaya-gaya yang diperlukan, seperti *pitching*, *rolling*, *pitching* + *rolling* untuk manuver dalam membantu evakuasi dampak bencana alam dapat digunakan pada daerah bencana alam sebagai bagian kegiatan evakuasi korban bencana alam dan memperkirakan posisi korban bencana, sehingga dengan adanya *quadcopter* ini diharapkan memudahkan evakuasi korban bencana alam, mitigasi daerah bencana. Dengan adanya mitigasi dan mempermudah serta mempercepat proses evakuasi mengurangi kerugian materi maupun non materi. *Quadcopter* tidak memerlukan ruang yang besar untuk pendaratan dan pergerakan diudara sehingga dihapkan dapat lebih fokus pada saat pengamatan di wilayah bencana alam. Diharapkan dengan cepatnya penangana bencana alam baik dalam hal evakuasi terhadap korban, perkiraan dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh bencana alam dapat meningkatkan ketahanan wilayah setempat.

Kejadian bencana menyebabkan kerugian di masyarakat. Bencana yang terjadi di seluruh wilayah Indonesia pada tahun 1815 sampai dengan Tahun 2019 didominasi oleh bencana yang disebabkan iklim seperti banjir dengan jumlah kejadian 10.438 kejadian, longsor sebanyak 6.050 kejadian, kekeringan 2.124 kejadian, serta kebakaran hutan dan lahan dengan kejadian 1.914. Terdapat kecenderungan peningkatan kejadian bencana setiap tahun, total kejadian bencana di tahun 1815 berjumlah 1 meningkat menjadi 3.885 kejadian pada tahun 2019. Menjaga keamanan nasional melalui *disaster risk management* mutlak diperlukan untuk kedaulatan Negara. Penanggulangan bencana yang baik merupakan bentuk perlindungan segenap bangsa dari segala ancaman, khususnya ancaman keamanan nasional yang berasal dari ancaman nonmiliter pada aspek bencana [21].

Teknologi pesawat tanpa awak sangat membantu pada pembuatan analisis dampak bencana. Analisis dampak bencana dapat dengan cepat dan mudah setelah foto atau video udara dihasilkan dari *drone* pada lokasi bencana untuk membantu pengambil kebijakan melakukan sebuah keputusan cepat, sehingga mempercepat pemulihan kondisi pasca bencana [22]. Meningkatnya bencana alam merupakan bentuk ancaman nyata terhadap keamanan nasional yang mengancam jiwa dan keselamatan bangsa Indonesia. Selain itu, bencana alam juga mempengaruhi kehidupan sosial ekonomi masyarakat, konsep pertahanan yang diatur dalam aturan dan kebijakan negara

secara eksplisit menyatakan bahwa tujuan pertahanan tidak hanya mengenai kedaulatan dan keutuhan wilayah, namun juga keselamatan segenap bangsa dan keselamatan manusia. Konsep pertahanan Indonesia menegaskan perlindungan terhadap kedaulatan wilayah dan keselamatan bangsa. Meningkatnya resiko dan intensitas bencana alam di masa depan, menjadi ancaman nyata bagi keselamatan rakyat Indonesia [23]. Teori ketahanan nasional berintikan kondisi dinamik bangsa Indonesia yang mengandung kemantapan dan ketangguhan, kapasitas untuk menumbuhkan kekuatan nasional, dalam menghadapi dan mengalahkan semua kesulitan, bahaya, hambatan dan pengaruh yang meresahkan yang datang dari luar maupun dari dalam negeri dapat membahayakan integritas, identitas, daya tahan negara dan wilayah Indonesia. Terdapat 5 kondisi dinamik dari ketahanan nasional, yaitu ideologi, politik, ekonomi, sosial budaya, pertahanan dan keamanan [24]. Inti dari ketahanan nasional adalah keuletan dan ketangguhan segenap bangsa yang berisi kapasitas dan kekuatan bangsa untuk dapat menjamin agar negara dan bangsa tetap bertahan dalam mencapai tujuan yang sudah ditetapkan [25].

Konsep Ketahanan Nasional disejajarkan dengan paradigma keamanan komprehensif, karena memandang keamanan dari berbagai pendekatan dengan mencakup spektrum yang luas, yaitu aspek pertahanan dan keamanan, aspek ekonomi, aspek politik, dan aspek sosial [26]. Salah satu sub-sistem Ketahanan Nasional tersebut adalah Pembinaan Ketahanan Wilayah, yang secara reguler dilakukan oleh TNI dan jajarannya. yang dimaksud dengan Pembinaan Ketahanan Wilayah adalah suatu pendekatan keamanan untuk mewujudkan stabilitas keamanan yang dinamis serta meningkatkan kepekaan dan rasa tanggung jawab masyarakat untuk menanggulangi ancaman atau gangguan yang timbul. Pelaksanaan Pembinaan Ketahanan Wilayah tersebut menggunakan pendekatan Bakti TNI dan Komunikasi Sosial (Komsos), dengan menganut azas-azas persuasif, pragmatif, dan komunikatif [27]. Pada kesimpulan penelitian Anwar S. (2021) dengan judul “Pemanfaatan Pesawat Terbang Tanpa Awak Untuk Pengamanan Perbatasan Kalimantan Dan Dampaknya Terhadap Ketahanan Wilayah” pemanfaatan Pesawat Terbang Tanpa Awak (PTTA) telah memberikan manfaat positif dan signifikan bagi pengelolaan wilayah perbatasan yang lebih efektif dan efisien, karena lebih terencana, terintegrasi, dan komprehensif, serta dapat diimplementasikan lebih tepat dan cepat dengan dukungan informasi yang lebih lengkap, *real time* dan terperinci, dengan yang dikumpulkan dengan upaya dan sumber daya minimum. Pengelolaan yang lebih baik berdampak positif terhadap peningkatan perlindungan berbagai aspek ketahanan daerah, berupa pemeliharaan kedaulatan negara, kondisi pertahanan dan keamanan negara, ketahanan ideologis masyarakat, keberlangsungan pembangunan daerah, kegiatan ekonomi masyarakat, sumber daya alam lokal, serta ketahanan sosial dan budaya masyarakat [27]. Sedangkan pada kasus bencana alam juga dapat mempengaruhi kehidupan sosial ekonomi masyarakat, dengan cepatnya penanganan bencana alam dapat meningkatkan ketangguhan masyarakat daerah dalam meningkatkan ketahanan wilayah. Dengan cepatnya evakuasi maka kerugian harta dan jiwa dapat dikurangi.

PTTA telah digunakan secara meluas oleh satuan operasional TNI AU yang ada di Kalimantan, di mana telah dibentuk skadron khusus yaitu Skadron Udara 51 Wing 7 yang ditempatkan di Pangkalan Udara Supadio, Pontianak. Pesawat yang dioperasikan memang dirancang untuk berbagai ragam misi *Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance* (ISR) dan mendukung misi medan perang di level taktis dan strategis. Skadron 51 ini menggunakan PTTA Aerostar dan Wulung PTTA Aerostar yang dimiliki TNI AU memiliki spesifikasi rentang sayap 8,3 m, panjang 4,5 m, tinggi 1,3 m, bobot maximum 230 kg, beban maximum 50 kg, daya jangkau 200 km, dan dengan daya tahan terbang 12 jam. PTTA Wulung yang digunakan oleh TNI AU, dengan fungsi yang sama dengan PTTA Aerostar [27].

Selain TNI AU, TNI AD juga mengoperasikan PTTA untuk tujuan mendukung pelaksanaan pengamanan wilayah perbatasan darat di Kalimantan yang dioperasikan oleh Direktorat Topograf TNI AD, menggunakan pesawat jenis multirotor seperti TOPX6-01 dengan dilengkapi kamera pemotretan udara berbasis koordinat GPS, dan TOPX4-RF yang dilengkapi kamera video untuk pemantauan dalam berbagai cuaca bahkan dalam kondisi hujan sekalipun. Selain kedua PTTA tersebut, TNI AD juga mengoperasikan PTTA multirotor TOPX8- HL yang memiliki kemampuan daya angkat hingga delapan kilogram dan dapat membawa senjata, logistik, dan perlengkapan ke daerah yang sulit untuk dilalui melalui jalur darat. PTTA tersebut dirancang dengan menyesuaikan kondisi geografis Indonesia yang 70 persen adalah air, dengan kemampuan PTTA lepas landas dan mendarat di air, baik itu sungai, danau dan juga di darat, karena selain dilengkapi *floating* juga dilengkapi *landing gear optional* untuk operasi dari darat. Kemampuan sistem kontrol jarak jauh hingga 100 kilometer untuk menerima *real time* atau *streaming video* pada ketinggian jelajah 300 meter sampai dengan 500 meter. PTTA ini memiliki kemampuan untuk terbang secara auto yang dilengkapi dengan sistem navigasi dan telemetri yang akurat, dengan OS-Wifanusa untuk melaksanakan operasi pengawasan [27].

4. KESIMPULAN

Nilai *thrust* yang dihasilkan dengan sudut puntir (*pitch*) 50° pada pergerakan *pitching* menghasilkan nilai sebesar 10,95 N, *rolling* menghasilkan nilai sebesar 11,094 N, *pitching* + *rolling* menghasilkan nilai sebesar 11,102 N. Nilai *thrust* dengan *propeller* sudut puntir (*pitch*) 43° pada pergerakan *pitching*

menghasilkan nilai sebesar 10,934 N, *rolling* menghasilkan nilai sebesar 10,969 N, *pitching + rolling* menghasilkan nilai sebesar 10,995 N. Untuk *voltage* yang masuk pada setiap motor akan berbeda tergantung pada pergerakannya. Dengan menggunakan sudut puntir (*pitch*) 50° pada gerakan *pitching*, nilai *voltage* motor 1 dan 2 sebesar 0,448 volt. Sedangkan untuk *voltage* motor 3 dan 4 sebesar 0,450 volt. Untuk nilai rpm motor 1 dan 2 sebesar 2,725 N sedangkan motor 3 dan 4 sebesar 2,751 N. Dengan menggunakan sudut puntir (*pitch*) 43° pada gerakan *pitching*, nilai *voltage* motor 1 dan 2 sebesar 0,6005 volt. Sedangkan untuk *voltage* motor 3 dan 4 sebesar 0,6006 volt. Untuk nilai rpm motor 1 dan 2 sebesar 2,733 N sedangkan motor 3 dan 4 sebesar 2,734 N.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haniffullah, A., Bangsa, I. A., & Stefanie, A. "Implementasi Quadcopter Pembawa Arm Robot Pembersih Kaca Jendela Gedung Bertingkat". *Edu Elekrika Journal*, vol 9 no 2, p. 36-42. 2020. <https://doi.org/10.15294/eej.v9i2.42746>.
- [2] Rahman, A. K., Supriyanto, H., & Meizinta, T. "Rancang Bangun Dan Implementasi Sistem Kendali Quadcopter Melalui Jaringan Internet Berbasis Lokasi Menggunakan Smartphone Android". In *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi*, p. 307-318, 2018.
- [3] Abrari, M. G., Budiarto, A., & Aminah, S. "Perancangan Unmanned Aerial Vehicle Berbasis Image Processing Untuk Estimasi Hasil Panen Pada Lahan Perkebunan". *SNIA (Seminar Nasional Informatika dan Aplikasinya)*, Vol. 4, p. A4-9, November. 2019.
- [4] Harfina, D. M., Zaini, Z., & Wulung, W. J. "Disinfectant spraying system with quadcopter type unmanned aerial vehicle (UAV) technology as an effort to break the chain of the COVID-19 virus". *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol 2. No 6, p. 502-507. 2021. <https://doi.org/10.18196/jrc.26129>.
- [5] Saputra, M. A., Mardiyah, N. A., & Nasar, M. "Perancangan Sistem Pengendalian Drone Autonomous Quadcopter Dengan Smartphone Berbasis Android". *Journal of Mechatronic and Electrical Engineering*, vol 1 no 1, p. 33-41. 2021. Retrieved from <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/JMEE/article/view/15716>.
- [6] Ridho hendra yoga perdana, Mochammad junus, & Junaedi adi prasetyo. "Vertical Take Off Landing (VTOL) Untuk Drop Kits Pada Quadcopter". *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems*, vo 1 no 01, p. 25 - 30. 2020. <https://doi.org/10.52158/jasens.v1i01.27>.
- [7] Andika, I. G., Yanti, C. P., & Cardewa, M. "Quadcopter obstacle avoidance dengan sensor inframerah untuk pemantauan bencana alam melalui udara". *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol 15 no 1, p. 71-80. 2018.
- [8] Muharani, Y. "Teknik Pendeteksian Keberadaan Korban Bencana Menggunakan Pesawat Tanpa Awak (Quadcopter)". *Doctoral dissertation*, Universitas Gadjah Mada. 2017.
- [9] Arnanto, A., Wulan Mei, E. T., Hizbaron, D. R., & Utami, W. "Pesawat Udara Nir Awak (Uav) Untuk Penyediaan Data Spasial Bidang Tanah Di Kawasan Rawan Bencana". *BHUMI: Jurnal Agraria Dan Pertanahan*, vol 5 no 2, p. 271-281. 2019. <https://doi.org/10.31292/jb.v5i2.377>.
- [10] Suroso, I. "Analisis Pemetaan Daerah Rawan Banjir Dan Longsor Dengan Drone Type Multicopter Di Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo". *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol 5 no 1, p. 34-43. 2018.
- [11] Nurkarim, Y. A., Latipah, A. J., & Suryawan, S. H. "Drone UAV Pemadam Kebakaran Otomatis". *TEKNIMEDIA: Teknologi Informasi dan Multimedia*, vol 1 no 2, p. 1-6. 2020.
- [12] Prasetyo, M. D., & Yamin, M. "Pengujian Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Amphii-Fly Evo 1.0 Untuk Misi Pencarian Dan Penyelamatan". *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol 23 no 3, p. 220-232. 2020.
- [13] Pradika, M. I., Giyarsih, S. R., & Hartono, H. "Peran pemuda dalam pengurangan risiko bencana dan implikasinya terhadap ketahanan wilayah Desa Kepuharjo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta". *Jurnal Ketahanan Nasional*, vol 24 no 2, p. 261-285, 2018. DOI:<http://dx.doi.org/10.22146/jkn.35311>.
- [14] Ruslanjari, D., Permana, R. S., & Wardhana, F. "Kondisi kerentanan dan ketahanan masyarakat terhadap bencana tanah longsor di Desa Pagerharjo, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta". *Jurnal Ketahanan Nasional*, vol 26 no 1, p. 23-39, 2020. DOI:<http://dx.doi.org/10.22146/jkn.54415>.
- [15] Setiabudi, D. H., & Subarjo, A. H. "Peningkatan Pengetahuan Masyarakat dalam Rangka Meningkatkan Ketahanan Wilayah". *Abdimas Dewantara*, vol 4 no 1, p. 52-64, 2021. DOI: <https://doi.org/10.30738/ad.v4i1.8311>.
- [16] Mantika, N. J., Hidayati, S. R., & Fathurrohman, S. "Identifikasi Tingkat Kerentanan Bencana Di Kabupaten Gunungkidul". *Matra*, vol 1 no 1, p. 59-70. 2020.
- [17] Swamardika, I. A., Setiawan, I. N., & Budiastira, I. N. "Rancang Bangun Quadcopter Robot Sebagai Alat Pemantau Jarak Jauh Kawasan Lingkungan Bencana". *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 2014. Universitas Udayana.
- [18] Podśędkowski, M., Konopiński, R., Obidowski, D., & Koter, K. "Variable pitch propeller for UAV-experimental tests". *Energies, MDPI Journal*. Vol 13 no 20, 5264. 2020.
- [19] Budi, D. S. "Pengaruh Variasi Pitch Propeller Terhadap Thrust Dan Voltage Motor Pada Quadcopter Tipe X", *Skripsi*, Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta. 2017.
- [20] Khan, M. "Quadcopter flight dynamics". *International journal of scientific & technology research*, vol 3 no 8, p. 130-135. 2014.
- [21] Yulianto, S., Apriyadi, R. K., Apriyanto, A., Winugroho, T., Ponangsera, I. S., & Wilopo, W. "Histori Bencana dan Penanggulangannya di Indonesia Ditinjau Dari Perspektif Keamanan Nasional". *PENDIPA Journal of Science Education*, vol 5 no 2, p. 180-187. 2021.

- [22] Jati, R. “Foto dan Video Menggunakan Drone di Lokasi Bencana”, *BNPB*, 2020. Diakses dari <https://bnpb.go.id/berita/foto-dan-video-menggunakan-drone-di-lokasi-bencana>, pada tanggal 25 April 2021 jam 21.45 wib.
- [23] Darma Agung S. I, “Bencana Alam, Militer, Dan Pertahanan Negara, Wira”, *Media Informasi Kementrian Pertahanan*, Edisi Mei-Juni 2019, Nomor 3 Volume 3. 2019.
- [24] Legionosuko, Tri, Adnan Madjid, Novky Asmoro, dan Eko G. Samudro, “Posisi dan Strategi Indonesia dalam Menghadapi Perubahan Iklim guna Mendukung Ketahanan Nasional”, *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 25 No. 3, p. 295-312. 2019.
- [25] Anwar, Syaiful, Agus Winarna, dan Priyanto. “Strategi Pemberdayaan Wilayah Pesisir Dalam Menghadapi Bencana Tsunami Serta Implikasinya Terhadap Ketahanan Wilayah (Studi di Desa Bulakan, Kecamatan Cinangka, Kabupaten Serang, Banten)”, *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 26 No. 1, p. 108-131. 2020.
- [26] Subiyanto, Adi, Rizaldi Boer, Edvin Aldrian, Perdinan, dan Rilus Kinseng. “Isu Perubahan Iklim dalam Konteks Keamanan dan Ketahanan Nasional”, *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 24 No. 3, p. 287- 305. 2018.
- [27] Anwar S. “Pemanfaatan Pesawat Terbang Tanpa Awak Untuk Pengamanan Perbatasan Kalimantan Dan Dampaknya Terhadap Ketahanan Wilayah”, *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 27 No. 3, p. 289-308. 2021.