RANCANG BANGUN PROTOTYPE OTOMASI POSISI KOMUNIKASI PENERBANGAN SWARM DRONE

DESIGN OF COMMUNICATION POSITION AUTOMATION PROTOTYPE FLIGHT SWARM DRONE

Rio Ananta Sitepu[1], Nyoman Bogi Aditya Karna[2], Arif Indra Irawan[3]
[1,2,3]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]**rioananta@student.telkomuniversity.ac.id,** [2]**aditya@telkomuniversity.ac.id,**
[3]**arifirawan@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak
Swarm Drone adalah teknologi kendaraan udara tak berawak yang melibatkan kelompok atau kawanan lebih dari satu drone yang dapat bergerak, berkomunikasi, dan berkoordinasi secara bersamaan. Teknologi ini meniru prinsip kerja kawanan hewan dalam membentuk informasi dan pola perilaku tertentu. Swarm drone tidak hanya berfungsi sebagai kendaraan udara, tetapi juga dapat membentuk formasi atau pola tertentu untuk tujuan tertentu**.** Oleh karena itu pada tugas akhir ini, telah dibuat sebuah prototipe swarm drone yang mampu berkomunikasi antar drone dan menjalankan pergerakan sesuai dengan keinginan pengguna. Prototipe ini terdiri dari dua quadcopter, di mana satu quadcopter bertindak sebagai drone leader dan lainnya bertindak sebagai drone follower**.**. Hasil dari tugas akhir ini adalah drone leader dan follower dapat mencapai tujuan yang diinginkan dengan kecepatan rata-rata untuk naik adalah 0,3292288 m/s dan kecepatan rata rata untuk turun adalah 0,3886089 m/s m/s sedangkan untuk kecepatan rata-rata maju untuk drone dapat berkoordinasi mencapai suatu titik adalah 0,3032391 m/s dan kecepatan rata-rata mundur untuk drone dapat berkoordinasi mencapai suatu titik adalah 0,3008058 m/s. Kecepatan rata-rata untuk menuju titik point adalah 0,4169875 m/s

Kata kunci : kawanan drone, sistem komunikasi; UAV dan quadcopter

Abstract
Swarm Drone is an unmanned aerial vehicle technology that involves a group or swarm of more than one drone capable of moving, communicating, and coordinating simultaneously. This technology mimics the principles of how groups of animals form specific information and behavioral patterns. Swarm drones not only function as aerial vehicles but also have the capability to form specific formations or patterns for specific purposes. Therefore, in this final project, a prototype of a swarm drone has been created, capable of communicating between drones and executing movements according to user preferences. This prototype consists of two quadcopters, where one quadcopter acts as the drone leader and the other as the drone follower. The outcome of this final project is that the drone leader and follower can achieve the desired goals, with an average ascent speed of 0.3292288 m/s and an average descent speed of 0.3886089 m/s. Additionally, the average forward speed for coordinated drone movement towards a point is 0.3032391 m/s, the average backward speed for coordinated drone movement towards a point is 0.3008058 m/s, and The average speed to go to the waypoint is 0.4169875 m/s

Keywords: swarm drone, communication system; UAV and quadcopter.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, minat terhadap pengendalian kawanan drone otonom telah meningkat. Penggunaan drone dalam kelompok atau "kawanan" memiliki potensi aplikasi luas, baik di bidang sipil maupun militer, di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Penelitian sebelumnya mengusulkan algoritma Leader-Follower dengan kontrol dari stasiun darat untuk mengendalikan drone dalam kawanan, mencegah tabrakan dan menjaga formasi.

Penelitian ini fokus pada desain dan implementasi kontrol Leader-Follower pada dua quadcopter. Drone pemimpin berperan sebagai pengatur dan koordinator drone pengikut. Drone pemimpin memberikan instruksi posisi, sistem misi, dan mengumpulkan data posisi drone pengikut. Dengan bimbingan drone pemimpin, drone pengikut menjalankan sistem misi dan

pergerakan sesuai instruksi. Integrasi GPS dan sensor Inertial Measurement Unit (IMU) digunakan untuk umpan balik kontrol.

Secara keseluruhan, penelitian ini berkontribusi dalam mengembangkan pengendalian kawanan drone melalui pendekatan Leader-Follower. Hal ini berpotensi meningkatkan efisiensi dan koordinasi dalam berbagai aplikasi drone di masa depan.

2. Dasar Teori

2.1. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Pengantar UAV, atau drone, menarik perhatian lintas sektor karena fleksibilitasnya. Dari pengumpulan data lalu lintas hingga pemantauan cuaca dan tugas militer, UAV memiliki beragam aplikasi. Selain itu, mereka berguna dalam pencarian dan penyelamatan serta observasi lingkungan berbahaya atau sulit dijangkau. Jenis UAV meliputi multicopter dan fixed-wing. Multicopter menggunakan baling-baling untuk gerakan, sementara fixed-wing memiliki sayap seperti pesawat dan memerlukan perancangan aerodinamis yang rumit.

2.2. Quadcopter

Quadcopter adalah jenis UAV dengan empat baling-baling motor, termasuk dalam Micro UAV. Mampu lepas landas dan mendarat vertikal. Digunakan untuk pengawasan, pemotretan, misi berisiko tinggi. Kontrol gerakan melalui kecepatan motor: naik-turun, maju-mundur, belok kiri-kanan. Pitch (maju-mundur), roll (kiri-kanan), yaw (belok) menggambarkan gerak. Motor independen, ukuran sesuai kecepatan. Dapat bergerak ke segala arah. Roll melalui kecepatan baling-baling berbeda, pitch dengan baling-baling depan/belakang.

2.3. Lithium Polymer (LiPo) Battery

Baterai LiPo adalah sumber daya utama untuk quadcopter, memberikan daya tahan tinggi, suhu rendah, dan pengisian cepat. Kapasitasnya diukur dalam mAh, menunjukkan energi yang bisa disimpan dalam satu jam. Contohnya, baterai 5000mAh penuh setelah 1 jam beban 5000mA. Dengan beban 2500mA, baterai sama habis dalam 2 jam. ESC quadcopter memerlukan 25A untuk keempat motor, baterai habis dalam ± 12 menit.

2.4. Flight Control Board (Pixhawk)

Flight controller memproses data sensor pada quadcopter dan mengendalikan motor. Pada quadcopter ini, menggunakan Pixhawk ARM PX4. Pixhawk adalah alat kuat untuk visi komputer dan kendali penerbangan. Dirancang untuk terbang aman dan mandiri, memanfaatkan visi komputer onboard sehingga UAV dapat terbang dalam berbagai arah dan kecepatan. Pixhawk memiliki prosesor terbaik yang memberikan kinerja dan keandalan luar biasa dalam mengontrol quadcopter secara otomatis.

2.5. Inertial Measurement Unit (IMU)

IMU (Inertial Measurement Unit) pada drone menggabungkan accelerometer dan gyroscope untuk mengukur perubahan gerak dan rotasi. Accelerometer mengukur percepatan linear pada tiga sumbu (x, y, z), memberi informasi tentang perubahan kecepatan dan arah gerakan. Gyroscope mengukur kecepatan sudut rotasi pada tiga sumbu, mengindikasikan perubahan orientasi. Data dari keduanya diintegrasikan oleh perangkat lunak kendali dalam autopilot seperti Pixhawk. Ini membantu drone menjaga keseimbangan, menghitung perubahan sudut, dan mengirim sinyal ke ESC untuk mengontrol motor. IMU memastikan respons cepat, penerbangan stabil, dan keselamatan. Kalibrasi awal diperlukan untuk akurasi data IMU.

2.6. GPS

Global Positioning System (GPS) adalah sistem navigasi yang berfungsi sebagai alat untuk melacak lokasi perangkat dengan mendeteksi koordinat atau posisi Pemimpin dan Pengikut. Ini dapat dilihat di Mission Planner atau perangkat lunak lainnya yang memungkinkan Anda untuk mengonfigurasi dan menggunakan Pixhawk Sistem GPS menggunakan teknik satu arah untuk mengirim pesan yang berisi lokasi, arah, dan waktu saat ini. Secara umum, penerima GPS dapat dibagi menjadi tiga kategori: Kontrol GPS, ruang GPS, dan segmen pengguna GPS semuanya bekerja sama untuk menyediakan layanan lokasi yang akurat

2.7. Radio Telemetry

Telemetri berfungsi untuk menerima dan mengirim data melalui sinyal radio yang dipasang salah satunya di operator yang terhubung dengan mission planer dan salah satunnya akan dipasang di drone mengubah misi dengan cepat dan real-time. Data telemetri mencakup informasi GPS, kecepatan jelajah, dan parameter lain yang dikumpulkan oleh sensor muatan. Telemetri yang digunakan pada tugas akhir yaitu dapat mengirimkan data pada frekuensi 433 MHz. Sinyal radio digunakan untuk menentukan lokasi telemetri ini.. Tiga komponen: pemancar radio, antena radio, dan penerima radio

2.8. ESC

ESC berfungsi untuk rangkaian yang mengatur kecepatan putaran drone saat terbang setelah di input diterima dan di proses oleh flight controller. ESC beroperasi sesuai dengan prinsip bahwa operator terlebih dahulu mengirimkan sinyal dari pemancar radio, yang kemudian diterima oleh penerima radio di quadcopter. Sinyal tersebut kemudian diteruskan ke pengontrol penerbangan, yang mengeluarkan respons proporsional. ESC menerima sinyal PWM

2.9. Ground Control Station

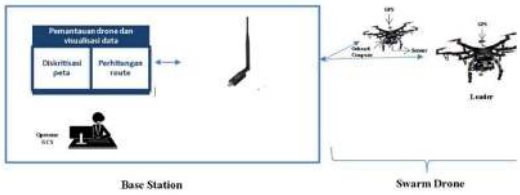
GCS (Ground Control Station) memainkan peran vital dalam mengontrol, berkomunikasi, dan memantau UAV. Fungsinya termasuk pengendalian dan komunikasi dengan UAV, pemantauan dan analisis status penerbangan secara real-time, perencanaan misi rinci, pengaturan dan pembaruan parameter serta firmware, serta pengawasan keamanan dan status seperti deteksi kegagalan dan pemantauan baterai. GCS menggunakan protokol komunikasi MAVLink untuk mengirim perintah kepada UAV, yang memungkinkan pelaksanaan tugas dan fungsi khusus. Mission Planner, salah satu perangkat lunak GCS, digunakan dalam sistem autopilot open-source ArduPilot. Ini memungkinkan pengguna merencanakan misi, mengontrol UAV, memantau performa, dan melakukan pembaruan. Dengan dukungan komunitas besar, Mission Planner memiliki lisensi GNU General Public License versi 3 yang memberikan kebebasan dalam penggunaan, modifikasi, dan distribusi**.**

2.9. Brushless DC Motor (BLDC)

Motor BLDC adalah jenis motor tanpa sikat yang umum digunakan dalam quadcopter dan drone. Ini menggunakan magnet permanen untuk menciptakan medan magnet dan menggantikan pergantian mekanis tradisional dengan pengaturan elektronik. Motor ini menggunakan arus searah untuk menggerakkan magnet permanen, dengan kumparan pada stator diaktifkan oleh transistor sesuai posisi rotor. Keuntungannya termasuk operasi andal, efisiensi tinggi, dan ketenangan karena tidak ada komutator dan sikat. Karena ini, motor BLDC populer dalam aplikasi yang memerlukan performa stabil dan akurat seperti drone.

3. Metode

3.1. Sistem Design

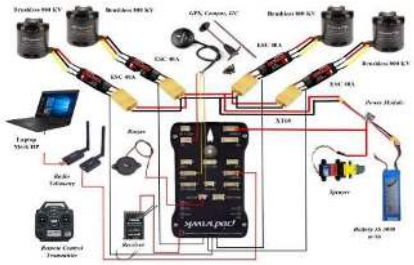


Gambar 1. System desain Swarm Drone

Pada gambar 3.1 sistem drone swarm dengan dua drone yang bekerja berkoordinasi, yakni sebagai "Leader" dan "Follower". Drone "Leader" mengendalikan seluruh kawanan melalui kendali jarak jauh intuitif oleh pengguna melalui operator PC. Sistem ini memanfaatkan Pixhawk sebagai pengontrol penerbangan, dengan lintasan pergerakan berdasarkan koordinat GPS dan ketinggian yang ditentukan di Mission Planner sebagai Ground Control Station (GCS). Desain sistem ini terdiri dari drone "Leader" yang memiliki peran berkomunikasi dengan server. Data yang dikumpulkan dan diproses oleh kawanan drone dibagikan dan dianalisis oleh drone "Leader", yang kemudian mendistribusikan tugas misi ke drone "Follower". GCS menggunakan laptop

dengan 2 telemetry untuk bertukar data dan mengirim perintah kepada kedua drone. Kedua drone dilengkapi dengan telemetry untuk memantau posisi relatif antara "Leader" dan "Follower". GCS mengirim perintah kepada drone, seperti target pencarian, pelacakan, serta pengaturan formasi dan jarak antara keduanya. Penelitian ini memfokuskan pada sistem drone swarm dengan dua drone yang saling berkoordinasi. Drone "Leader" mengontrol seluruh kawanan melalui kendali jarak jauh, berdasarkan perintah dari GCS yang menggunakan Pixhawk sebagai pengontrol penerbangan. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengatur pergerakan, tugas, dan formasi kawanan drone.

3.2. Skema Rangkaian Perangkat Keras



Gambar 2. Skema rangkaian perangkat keras

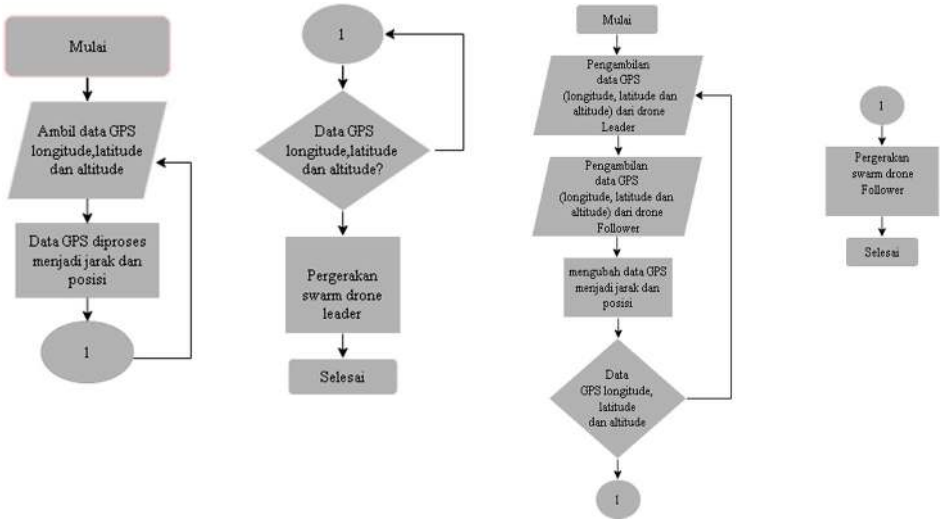
Pengontrol penerbangan Pixhawk dipakai, & digunakan untuk mengatur seluruh algoritme terbang drone. Modul GPS dipakai buat memilih lokasi drone. Radio Receiver bertindak menjadi penerima perintah yg dikirim sang remote control. Saat menjalankan misi terbang flight controller mengirimkan frekuwensi ke ESC yg terhubung ke motor penggerak, yg mengatur kecepatan masing-masing drone. Semua perangkat ini terhubung ke modul daya, yg berfungsi menjadi asal distribusi tegangan primer buat baterai.

3.3. Perancangan Mekanik Drone Leader dan Drone Follower

Dalam perancangan hardware tugas akhir ini, termasuk perancangan mekanik pada drone leader dan drone follower. Meskipun berbeda ukuran, keduanya menggunakan frame quadcopter yang sama. Frame quadcopter ini menciptakan stabilitas dalam penerbangan dengan empat lengan yang dilengkapi motor. Perancangan mekanik yang tepat memastikan kedua drone dapat berfungsi baik dalam tugas penerbangan dan misi yang ditetapkan. Ukuran frame drone leader adalah 650mm, sementara drone follower 450mm. Berikut adalah gambar rancangan mekanik pada kedua drone.

Gambar 3. Perancangan mekanik drone leader dan drone follower

3.4. Flowchart



Gambar 4. Flowchart drone leader dan drone follower

Dalam formasi leader-follower, Drone A adalah leader dan Drone B adalah follower. Drone leader mengambil data GPS (longitude dan latitude) untuk menentukan posisi tujuan. Data GPS diproses untuk menghitung jarak dan pergerakan yang diperlukan. Drone leader menjalankan pergerakan sesuai instruksi dan mengirim data hasil perhitungan kepada drone follower melalui sistem komunikasi. Drone follower menerima data ini, membandingkan dengan datanya, dan mengatur pergerakan sesuai instruksi untuk mencapai posisi tujuan. Dengan diagram alur yang jelas, sistem leader-follower ini berkomunikasi dan berkoordinasi dengan baik.

4. Pengujian dan Analisis

Seluruh pengujian melibatkan beberapa alat, termasuk quadcopter, Stopwatch HP, dan remote. Metode pengujian melibatkan pengamatan waktu yang dibutuhkan oleh drone untuk mencapai ketinggian yang diinginkan.

4.1. Pengujian Kecepatan Drone Leader dan Follower Naik

Tabel 1. Pengujian Kecepatan leader dan follower naik

No	Pengujian	Ketinggian (millimeter)	Waktu (detik)
1	1	1500	6
2	2	3000	9
3	3	4500	11
4	4	6000	13
5	5	7500	15
6	6	9000	16
7	7	10500	18
8	8	12000	20
9	9	13500	22
10	10	15000	24

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari Tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi ketinggian yang ditempuh, maka waktu yang dibutuhkan oleh drone leader dan drone follower untuk mencapai tujuan ketinggian tersebut akan semakin lama.

4.2. Pengujian Kecepatan Drone Leader dan Follower Turun

Tabel 2. Pengujian Kecepatan leader dan follower Turun

No	Pengujian	Ketinggian (millimeter)	Waktu (detik)
1	1	1500	3
2	2	3000	6
3	3	4500	8
4	4	6000	11
5	5	7500	13
6	6	9000	15
7	7	10500	17
8	8	12000	19
9	9	13500	21
10	10	15000	23

Berdasarkan hasil yang tercantum pada Tabel 4.2, dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian kecepatan drone leader dan drone follower, waktu yang dibutuhkan akan semakin lama jika jarak ketinggian yang ditempuh semakin tinggi. Dengan kata lain, semakin tinggi ketinggian yang harus dicapai, maka drone leader dan drone follower akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk turun dari ketinggian tersebut.

4.3. Pengujian Kecepatan Drone Leader dan Follower Maju

Tabel 3. Pengujian Kecepatan leader dan follower Maju

No	Pengujian	Ketinggian (millimeter)	Waktu (detik)
1	1	1500	6
2	2	3000	10
3	3	4500	12
4	4	6000	15
5	5	7500	17
6	6	9000	18
7	7	10500	20
8	8	12000	22
9	9	13500	23
10	10	15000	24

Berdasarkan hasil yang tercantum pada Tabel 4.3, dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian kecepatan drone leader dan drone follower, waktu yang dibutuhkan akan semakin lama jika jarak ketinggian yang ditempuh semakin tinggi. Dengan kata lain, semakin tinggi ketinggian yang harus dicapai, maka drone leader dan drone follower akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk turun dari ketinggian tersebut.

4.4. Pengujian Kecepatan Drone Leader dan Follower Mundur

Tabel 4. Pengujian Kecepatan Drone Leader dan Follower Mundur

No	Pengujian	Ketinggian (millimeter)	Waktu (detik)

1	1	1500	8
2	2	3000	11
3	3	4500	13
4	4	6000	14
5	5	7500	16
6	6	9000	18
7	7	10500	20
8	8	12000	21
9	9	13500	23
10	10	15000	24

Berdasarkan hasil yang tercantum pada Tabel 4.4, dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian drone leader dan drone follower, waktu yang dibutuhkan akan lebih cepat jika jarak mundur yang ditempuh semakin pendek.

4.5. Pengujian Kecepatan Drone Leader dan Follower Menuju Titik Point

Tabel 1. Pengujian Kecepatan Drone Leader dan Follower Menuju Titik Point

No	Pengujian	Ketinggian (millimeter)	Waktu (detik)
1	1	1500	8
2	2	3000	11
3	3	4500	13
4	4	6000	14
5	5	7500	16
6	6	9000	18
7	7	10500	20
8	8	12000	21
9	9	13500	23
10	10	15000	24

Berdasarkan hasil yang tercantum pada Tabel 4.5, dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian drone leader dan drone follower, waktu yang dibutuhkan akan lebih cepat jika jarak yang ditempuh semakin pendek. Sebaliknya, jika jarak yang harus ditempuh semakin panjang, maka waktu yang dibutuhkan akan semakin lama. Dengan demikian, drone leader dan drone follower akan mencapai tujuan yang lebih dekat dengan waktu yang lebih singkat, sedangkan untuk jarak yang lebih jauh, mereka akan membutuhkan waktu yang lebih lama.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil Pengujian yang dilakukan, saya dapat mengambil beberapa kesimpulan penting: Dalam situasi jarak yang sangat dekat, drone leader menunjukkan kemampuan untuk naik, turun, maju, dan mundur dengan waktu yang sangat cepat. Drone follower membutuhkan sedikit lebih banyak waktu untuk menjalankan komunikasi dibandingkan dengan drone leader. Namun, baik drone leader maupun drone follower tetap mampu beroperasi secara cepat jika jarak yang ditempuh tidak terlalu jauh. Dalam rentang jarak 15-meter dengan telemetry, komunikasi antara drone leader dan drone follower berjalan lancar tanpa gangguan yang signifikan. Analisis kecepatan didapatkan dengan membagi jarak yang ditempuh oleh waktu yang dibutuhkan. Hasil rata-rata kecepatan untuk drone leader dan drone follower adalah sebagai berikut: Kecepatan rata-rata untuk naik adalah 0,3292288 m/s. Kecepatan rata-rata untuk turun adalah 0,3886089 m/s. Kecepatan rata-rata untuk maju adalah 0,3032391 m/s. Kecepatan rata-rata untuk mundur adalah 0,3008058 m/s. Kecepatan rata-rata untuk menuju titik point adalah 0,4169875 m/s. Kesimpulan tersebut diperoleh melalui analisis data yang terkumpul dan percobaan yang dilakukan. Data ini memberikan gambaran kinerja drone leader dan drone follower dalam situasi berbeda, menggambarkan karakteristik pergerakan dan komunikasi mereka.

Daftar Pustaka:

[1] Santana LV, Brandao AS, Sarcinelli-Filho M (2016) Navigation and cooperative control using the ar. drone quadrotor. J Intel Robot System 84(1–4):327–350

[2] Abas MF, Pebrianti D, Ali SAM, Iwakura D, Song Y, Nonami K, Fujiwara D (2013) Circular leader-follower formation control of quad-rotor aerial vehicles. J Robot Mechatron 25(1):60–71

[3] Vankadari MB, Das K, Kumar S (2017) Autonomous leader-follower architecture of A.R. Drones in GPS constrained environments. In: Proceedings of AIR'17, New Delhi, India

[4] I.Gaponov and A. Razinkova, "Quadcopter design and implementation as a multidisciplinary engineering course," in Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) 2012, Hong Kong, China, 2012, pp. H2B-16-H2B-19.

[5] H. Eisenbeiss et al., "A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition," International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 36, no. 5/W1, pp. 1–7, 2004

[6] M. Khan, "Quadcopter flight dynamics," International journal of scientific & technology research, vol. 3, no. 8, pp. 130–135, 2014

[7] J. J. Sudano, "An exact conversion from an earth-centered coordinate system to latitude, longitude, and altitude," in Proceedings of the IEEE 1997 National Aerospace and Electronics Conference. NACION 1997, vol. 2. IEEE, 1997, pp. 646–650.

[8] N. Long, "Radio telemetry," Sensor Review, 1994.

[9] H. Lee, V. Smet, and R. Tummala, "A review of sic power module packaging technologies: Challenges, advances, and emerging issues," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 8, no. 1, pp. 239– 255, 2019.

[10] Alvissalim MS, Zaman B, Hafizh A, Ma'sum MA, Jati G, Jatmiko W, Mursanto P (2012) Swarm quadrotor robots for telecommunication network coverage area expansion in the disaster area. In: SICE annual conference, Akita, Japan

[11] Hou Z (2016) Modeling and formation controller design for multi-quadrotor systems with leader–follower configuration. Dissertation, Université de Technologie de Compiègne, France

[12] B.J. Olivieri de Souza, M. Endler Coordinating movement within swarms of UAVs through mobile networks 2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), St. Louis, MO, USA (2015), pp. 154-159