Rancang Bangun RPV *Quadcopter* Untuk Keperluan Penyiraman Pupuk Cair Di Area Lahan Pertanian Terbatas : Kaji Desain Tangki

Muhamad Zaki Al-Ansory[1], Lenny Iryani[2]

[1]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*
E-mail : muhamad.zaki.aer23@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*
corresponding author: lenny.iryani@polban.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pertanian mulai memanfaatkan alat otomatis, salah satunya *quadcopter* untuk membantu penyiraman pupuk cair. Teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi, menghasilkan distribusi penyiraman yang lebih merata, serta mengurangi paparan bahan kimia bagi petani. Namun, penggunaannya masih terbatas karena harga *quadcopter* komersial yang relatif mahal. Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun *quadcopter* dengan sistem tangki pupuk cair terintegrasi untuk penyiraman pada lahan pertanian terbatas. Metode yang digunakan meliputi perancangan tangki, integrasi sistem semprot elektrik, serta pengujian pola penyiraman pada berbagai ketinggian dan kecepatan. Hasil penelitian berupa rancangan *quadcopter* yang dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu penyiraman pupuk cair secara efisien pada lahan terbatas.

Kata Kunci:
Quadcopter, Pertanian, Tangki, Penyiraman, Pupuk Cair.

Agricultural technology is increasingly adopting automated systems, including quadcopters for liquid fertilizer spraying. This technology improves work efficiency, provides more uniform fertilizer distribution, and reduces farmers' direct exposure to chemicals. However, its application is still limited due to the relatively high cost of commercial quadcopters. This research aims to design and develop a quadcopter integrated with a liquid fertilizer tank for efficient spraying in limited agricultural areas. The methodology includes tank design, integration of an electric spraying system, and spraying pattern tests at various flight altitudes and speeds. The result is a quadcopter design that can be utilized as an efficient tool for liquid fertilizer spraying in limited farmland.

Keywords:
Quadcopter, Agriculture, Tank, Spraying, Liquid Fertilizer.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang pertanian saat ini mulai mengarah pada penggunaan alat bantu otomatis, salah satunya *quadcopter*, untuk membantu proses penyiraman pupuk cair, terutama pada lahan yang sempit dan sulit dijangkau. Penggunaan *quadcopter* mampu mempercepat proses penyiraman, menghasilkan distribusi yang lebih merata, serta mengurangi paparan bahan kimia terhadap petani (1 – 5). Meskipun memiliki banyak manfaat, penerapan *quadcopter* untuk penyiraman pupuk cair masih terbatas karena harga perangkat komersial yang relatif mahal. Selain itu, stabilitas tangki pupuk cair saat *quadcopter* bergerak atau bermanuver masih menjadi kendala sehingga proses penyemprotan belum berlangsung secara konsisten (6). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan tangki pupuk cair yang terintegrasi dengan *quadcopter*, memiliki biaya yang lebih terjangkau, stabil saat terbang, serta mampu menghasilkan penyemprotan yang efektif dan merata (7). Penelitian ini berfokus pada perancangan tangki dan sistem *sprayer* untuk meningkatkan stabilitas *quadcopter* serta pemerataan penyemprotan pupuk cair. Dalam pelaksanaannya, pengkajian sistem dibagi menjadi beberapa bagian, meliputi sistem kendali terbang, struktur, tangki dan sistem penyemprotan, serta pengujian performa penerbangan. Hasil dari penelitian yang dilakukan diharapkan menghasilkan *quadcopter* penyiraman pupuk cair yang ekonomis, stabil, dan fungsional sehingga dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu penyiraman pada lahan terbatas secara lebih praktis, efisien, dan mendukung peningkatan hasil pertanian.

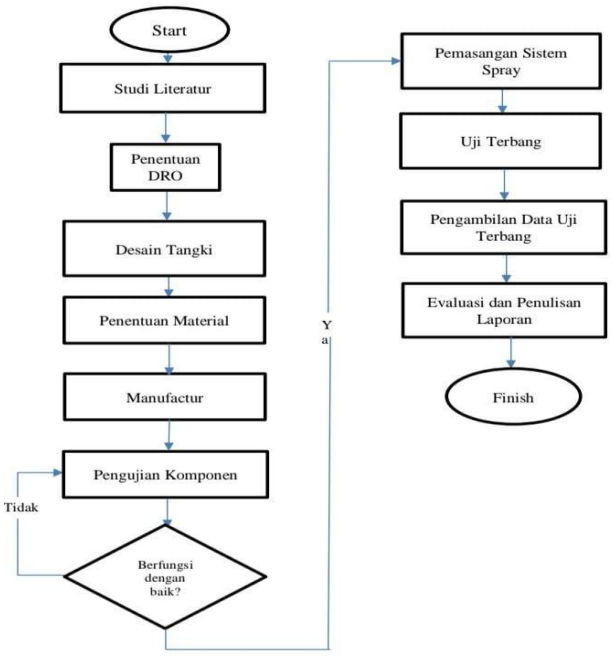
2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengembangan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk aplikasi pertanian telah banyak dilakukan, terutama pada sistem penyemprotan pupuk cair. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem instrumentasi, *flight controller*, dan mekanisme penyemprotan telah mampu bekerja dengan baik, namun masih terdapat beberapa kendala pada kestabilan wahana saat membawa cairan akibat distribusi massa, kekuatan struktur, serta keterbatasan torsi servo yang memengaruhi kemampuan manuver dan pengujian (1 – 3). Di sisi lain, *quadcopter* dipilih sebagai *platform* UAV karena memiliki kemampuan *hovering*, manuver yang tinggi, serta kemampuan lepas landas dan mendarat secara vertikal (*Vertical Take-Off and Landing/VTOL*), sehingga sesuai untuk dioperasikan pada lahan pertanian dengan area yang terbatas (8,9). Selain performa, desain tangki dan sistem penyemprotan juga menjadi faktor penting dalam

keberhasilan aplikasi penyiraman pupuk cair. Desain tangki harus mempertimbangkan kapasitas, bobot, dan distribusi beban agar tidak mengurangi kestabilan penerbangan, sedangkan sistem penyemprotan elektrik yang terdiri atas pompa, selang, dan *nozzle* mampu menghasilkan debit serta pola semprot yang lebih konsisten dibandingkan metode manual (10,11).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilaksanakan secara sistematis dan terstruktur. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan penyusunan *Design Requirement and Objective* (DRO), pemilihan komponen, perancangan sistem *sprayer*, pengujian *sprayer*, hingga pelaksanaan uji terbang. Seluruh tahapan dilakukan secara berurutan untuk memastikan proses perancangan dan pengujian berjalan secara efektif. Alur metode penelitian disajikan dalam bentuk *flowchart* yang menggambarkan setiap tahapan pelaksanaan penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar *quadcopter*, sistem tangki pupuk cair, dan sistem penyemprotan yang terintegrasi. Kajian juga mencakup desain tangki, pemilihan komponen penyemprotan, karakteristik pompa dan *nozzle*.

3.2 Design Requirements and Objectives (DRO)

Design Requirement and Objective (DRO) disusun sebagai acuan utama dalam proses perancangan *quadcopter* penyiram pupuk cair. Kebutuhan desain meliputi kemampuan *quadcopter* untuk membawa tangki pupuk cair, menjaga kestabilan penerbangan saat membawa beban, mengintegrasikan sistem penyemprotan, serta menghasilkan distribusi penyemprotan yang merata. Parameter dan target yang digunakan dalam penyusunan DRO pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Design Requirements and Objectives

No	Parameter	Nilai
1	Ketinggian Terbang	2 meter
2	Durasi Terbang	3 - 5 Menit
3	MTOW (*Maximum Take Off Weight*)	4 - 5 Kg
4	Jangkauan Terbang	50 - 100 m
5	*Payload* (Tangki)	1 - 2 Liter

3.3 Penentuan Komponen

Setelah tahap penentuan DRO selesai, langkah berikutnya adalah melakukan desain atau bentuk tangki pupuk cair dan penentuan material yang tepat untuk RPV *quadcopter*. Bentuk tangki disesuaikan dengan kebutuhan misi penyiraman pupuk cair. Keberhasilan sangat ditentukan oleh ketepatan pemilihan material. Oleh karena itu, pada Tabel 2 tercantum spesifikasi komponen yang diperoleh setelah melakukan survei.

Tabel 2. Spesifikasi Komponen

No	Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Tangki	Kapasitas : 1 -2 Liter Material : HDPE	1 buah
2	*Pump*	Mini Diaphragm Pump Tipe : Diaphragm / Peristaltic Tegangan : 6–12 V DC Arus (Ampere) : ±0,5–2 A Tekanan : ±0,2–0,5 Bar	1 buah
3	*Nozzle*	*Nozzle* mist Material:Plastik ABS / Polipropilen Tekanan : 0,2 – 0,5 bar Debit aliran : 0,3 – 1 L/menit	2 buah
4	Selang *(hose)*	Panjang : 30 cm Diameter dalam : 7 – 8 mm Diameter luar : 9 – 10 mm Meterial : PU (Polyurethane) / PVC tahan kimia ringan	6 buah
5	*Hose Connector*	Diameter : 9 - 10 mm Material: Plastik PP	4 buah
6	*Limit Switch*		1 buah
7	*Servo Motor*		1 buah

3.4 Perancangan Sistem *Sprayer*

Gambar 2 menunjukkan rancangan sistem elektronik penyemprotan otomatis pada *quadcopter*. Sistem menggunakan baterai LiPo 4 cell sebagai sumber daya

dengan *step-down* untuk menyesuaikan tegangan kerja pompa sebesar 12 V (12 – 15).

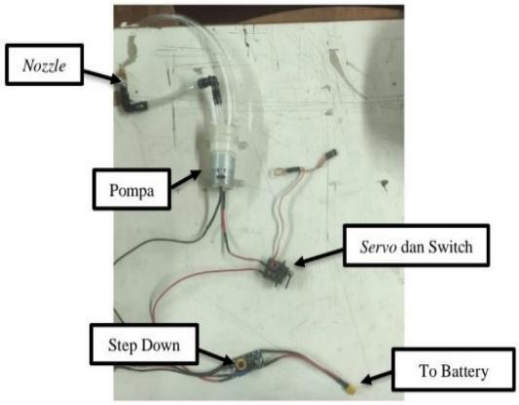
Aktivasi pompa dilakukan melalui limit switch yang ditekan oleh servo motor berdasarkan perintah dari *flight controller Pixhawk* yang telah dikonfigurasi menggunakan *Mission Planner*, sehingga proses penyemprotan dapat berlangsung secara otomatis.

Gambar 2. Block Diagram Sistem Penyemprotan Pupuk

3.5 Perakitan Sistem *Sprayer*

Perakitan sistem sprayer dilakukan setelah seluruh komponen tersedia dan dipastikan berfungsi dengan baik. Tahap ini bertujuan mengintegrasikan tangki, pompa, selang, *nozzle*, dan *limit switch* ke dalam rangka *quadcopter* dengan memperhatikan distribusi beban agar pusat gravitasi tetap seimbang. Tangki berkapasitas 1,5 L dipasang pada bagian tengah rangka, sedangkan pompa DC 12 V ditempatkan di bawah tangki dan dihubungkan ke *nozzle* menggunakan selang fleksibel.

Pompa memperoleh suplai tegangan 12 V melalui *limit switch* yang diaktifkan oleh *servo motor* sesuai perintah dari *flight controller*. Setelah proses perakitan selesai, dilakukan uji fungsi awal menggunakan air bersih untuk memastikan sistem mampu mengalirkan cairan ke *nozzle* dan menghasilkan pola semprotan sesuai dengan rancangan. Hasil perakitan sistem sprayer dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Perakitan Sistem Sprayer

3.6 Perancangan Tangki

Perancangan diawali dengan menentukan kebutuhan tangki, yaitu kapasitas ±1,5 liter, bentuk sederhana, kuat, ringan, dan mudah diintegrasikan dengan sistem *quadcopter* (5). Tangki didesain berbentuk persegi panjang dengan sudut membulat untuk meningkatkan kekuatan struktur dan keamanan. Tangki dilengkapi tutup ulir pada bagian atas serta *outlet* pada bagian bawah. Model tangki dibuat dalam bentuk 3D dengan tahapan pembuatan bentuk dasar, penambahan *fillet*, lubang tutup, dan saluran *outlet*. Ketebalan dinding diatur agar cukup kuat namun tetap ringan untuk mendukung sistem terbang.

3.7 Material Tangki

Material yang dipilih untuk tangki adalah *Polyethylene High Density* (PEHD/HDPE). Pemilihan material ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis, yaitu memiliki massa jenis yang relatif rendah sehingga ringan, memiliki kekuatan mekanik yang cukup baik, tahan terhadap bahan kimia, serta tidak mudah bocor. Selain itu, PEHD juga memiliki ketahanan terhadap korosi dan aman digunakan untuk penyimpanan cairan, sehingga sesuai untuk aplikasi tangki. Material ini juga memiliki fleksibilitas yang cukup baik sehingga tidak mudah retak saat terjadi getaran atau benturan ringan, yang sangat penting dalam aplikasi pada *quadcopter*. Jika massa jenis PEHD sekitar 0,95 g/cm³, maka berat tangki dapat diperkirakan lebih ringan dibandingkan material logam. Hal ini mendukung efisiensi *payload*, di mana total beban (tangki + cairan) harus tetap berada dalam batas kemampuan angkat *quadcopter*.

3.8 Pemasangan Sistem *Sprayer*

Tujuan utama dari pemasangan sistem *sprayer* adalah menghasilkan integrasi yang stabil, aman, dan efisien antara sistem penyemprotan dan *quadcopter*. Dengan penempatan yang tepat, sistem *sprayer* diharapkan dapat bekerja secara optimal tanpa mengurangi performa terbang, seperti durasi terbang dan kemampuan manuver. Pemasangan yang rapi dan terstruktur juga bertujuan untuk meminimalkan risiko kebocoran serta kerusakan komponen akibat getaran atau benturan saat operasi.

3.9 Penentuan *Central of Gravity*

Penentuan *Center of Gravity* (CG) dilakukan menggunakan metode momen dengan menghitung hasil perkalian massa setiap komponen terhadap jaraknya dari titik acuan (datum). Nilai momen total kemudian dibagi dengan massa total sistem untuk memperoleh koordinat CG pada sumbu X dan Y.

$$CG_x = \frac{\sum M_x}{\sum m} = \frac{-992}{3674.1} = -0.27mm$$

$$CG_y = \frac{\sum M_y}{\sum m} = \frac{-28738.5}{3674.1} = -7.82mm$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa titik berat berada pada koordinat -0,27 mm terhadap sumbu X dan -7,82 mm terhadap sumbu Y dari titik datum. Posisi tersebut menunjukkan distribusi massa *quadcopter* yang relatif seimbang sehingga dapat mendukung kestabilan penerbangan, terutama pada saat *take-off*, *hover*, dan manuver.

3.10 Pengujian Sistem *Sprayer*

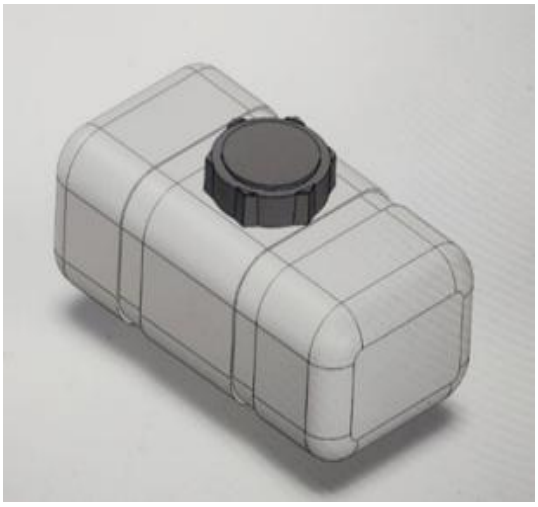
Pengujian komponen sistem *sprayer* dilakukan untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai dengan rancangan sebelum diintegrasikan ke dalam *quadcopter*. Pengujian meliputi evaluasi kinerja pompa, *nozzle*, dan selang berdasarkan parameter debit aliran, tekanan semprot, kestabilan aliran, serta potensi kebocoran. Hasil pengujian digunakan untuk memastikan setiap komponen memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan dan menjadi dasar dalam proses integrasi sistem *sprayer* pada *quadcopter*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil perancangan, perakitan, dan pengujian sistem tangki serta penyemprotan pupuk cair pada *quadcopter*. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian masing-masing komponen, integrasi sistem, hingga pengujian keseluruhan pada *quadcopter*. Setiap hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem, kestabilan tangki, serta performa penyemprotan. Pembahasan juga mencakup evaluasi komponen utama, seperti tangki, pompa, *nozzle*, dan sistem kendali penyemprotan, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan.

4.1 Hasil Desain Tangki

Hasil perancangan tangki yang digunakan dalam sistem *quadcopter* sprayer untuk penyiraman pupuk cair. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan kapasitas, bentuk, serta material yang sesuai dengan karakteristik sistem. Hasil desain yang diperoleh meliputi konfigurasi tangki, dimensi, serta penempatan komponen utama yang mendukung proses penyimpanan dan distribusi fluida. Hasil desain tangki dapat dilihat pada Gambar 4.



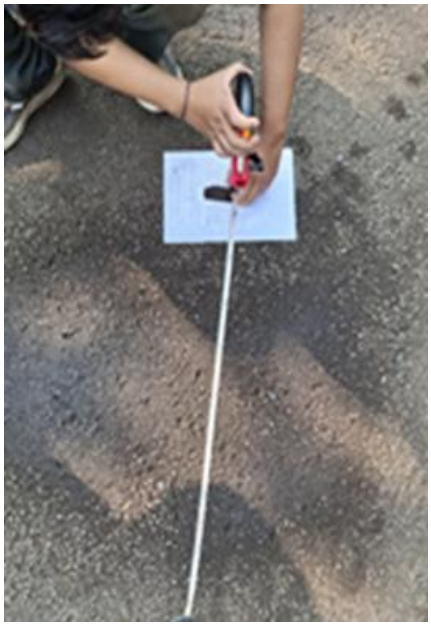
Gambar 4. Desain Tangki

Desain ini merupakan tangki berbentuk balok sederhana dengan kapasitas 1,5 liter yang digunakan pada sistem *quadcopter sprayer*. Tangki ini menggunakan material *High Density Polyethylene* (HDPE) karena ringan, tahan terhadap bahan kimia, dan cukup kuat untuk penggunaan operasional. Bentuk balok dipilih untuk memudahkan proses pembuatan serta pemasangan pada rangka *quadcopter* karena memiliki permukaan datar yang stabil. Tangki dilengkapi dengan saluran keluaran fluida (*outlet*) yang terletak di bawah, sehingga cairan dapat dialirkan dengan baik selama proses penyemprotan. Selain itu, terdapat lubang pengisian pada bagian atas untuk memudahkan pengisian cairan.

4.2 Hasil Pengujian *Sprayer*

Pengujian sistem penyemprotan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja aliran cairan yang dihasilkan oleh pompa menuju *nozzle*. Pengujian diawali dengan menyiapkan media uji berupa air yang dialirkan ke dalam sistem sebagai simulasi cairan penyemprotan. Volume cairan yang digunakan disesuaikan agar proses pengamatan dapat dilakukan secara optimal.

Setelah sistem siap, pompa DC 12 V diaktifkan untuk mengalirkan cairan melalui saluran distribusi menuju *nozzle*. Cairan yang dialirkan kemudian keluar melalui *nozzle* yang telah terpasang pada sistem dan menghasilkan pola semprotan yang menyebar sehingga distribusi cairan menjadi lebih merata. Selama proses pengujian, aliran yang dihasilkan terlihat stabil dan tidak mengalami gangguan.Proses pengujian sprayer dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian Sistem Sprayer

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem penyemprotan mampu bekerja dengan baik, di mana cairan dapat mengalir secara kontinu dan keluar melalui *nozzle* sesuai dengan yang diharapkan. Dengan demikian, sistem dinyatakan siap digunakan untuk mendukung proses penyemprotan pada aplikasi *quadcopter*.

4.3 Hasil Uji Terbang Tanpa Tangki

Pengujian terbang awal dilakukan untuk mengetahui performa dasar *quadcopter* sebelum dipasang sistem penyemprotan. Tahap ini bertujuan memastikan bahwa sistem penerbangan, meliputi rangka, motor, *Electronic Speed Controller* (ESC), *flight controller*, dan sistem kendali, dapat bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan pada area terbuka dengan kondisi cuaca yang mendukung.

Pada proses take-off, *quadcopter* mampu lepas landas dengan baik tanpa mengalami kesulitan dalam menghasilkan gaya angkat. Respons motor terhadap peningkatan throttle berlangsung halus sehingga *quadcopter* dapat mencapai ketinggian yang diinginkan. Selama melakukan hover, *quadcopter* mampu mempertahankan posisi terbang dengan stabil, sedangkan respons terhadap perintah dari remote control untuk pergerakan maju, mundur, ke kanan, dan ke kiri berlangsung dengan baik.

Pengujian manuver menunjukkan bahwa *quadcopter* dapat berpindah arah secara halus dan kembali ke posisi melayang tanpa kehilangan kestabilan. Selama pengujian tidak ditemukan getaran yang berlebihan maupun penurunan performa motor. Pada tahap landing, *quadcopter* berhasil mendarat secara bertahap dan tetap terkendali, sehingga menunjukkan bahwa sistem penerbangan mampu bekerja secara konsisten selama proses pengujian. Dokumentasi pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6. Proses Uji Terbang Tanpa Tangki

4.4 Hasil Uji Terbang Dengan Tangki

Pengujian terbang dilakukan untuk mengetahui kemampuan *quadcopter* dalam membawa tangki berkapasitas 1,5 liter yang telah dipasang pada rangka. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penambahan beban terhadap kemampuan *take-off*, kestabilan penerbangan, respons kendali, serta proses *landing*. Seluruh pengujian dilaksanakan pada area terbuka dengan kondisi cuaca yang mendukung.

Pada tahap *take-off*, *quadcopter* berhasil lepas landas dengan baik meskipun membawa tambahan beban dari sistem tangki. Keempat motor mampu menghasilkan gaya angkat yang cukup sehingga *quadcopter* dapat mencapai ketinggian yang diinginkan dalam kondisi terkendali. Saat *hover*, *quadcopter* mampu mempertahankan posisi terbang dengan cukup stabil meskipun kebutuhan daya motor meningkat. Respons terhadap perintah dari *remote control* juga tetap berjalan normal sehingga pergerakan ke segala arah dapat dilakukan tanpa kendala yang berarti.

Selama pengujian, posisi tangki yang ditempatkan pada bagian tengah rangka memberikan distribusi massa yang relatif seimbang sehingga membantu menjaga *center of gravity* tetap berada di sekitar sumbu utama *quadcopter*. Kondisi tersebut memberikan pengaruh positif terhadap kestabilan penerbangan saat melakukan manuver. Pada tahap landing, *quadcopter* berhasil mendarat secara perlahan tanpa kehilangan kendali, sehingga menunjukkan bahwa sistem propulsi dan sistem kendali mampu bekerja dengan baik meskipun membawa beban tambahan berupa tangki berkapasitas 1,5 liter. Dokumentasi pengujian ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7. Proses Uji Terbang Dengan Tangki

4.5 Hasil Perhitungan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengevaluasi kinerja sistem penyemprotan yang telah dirancang. Perhitungan yang dilakukan meliputi penentuan debit aktual berdasarkan data hasil pengujian, perhitungan luas penampang *nozzle*, serta perhitungan debit teoritis menggunakan Persamaan *Orifice*. Selanjutnya, hasil perhitungan debit teoritis dibandingkan dengan debit aktual untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara nilai perhitungan dan kinerja sistem penyemprotan pada saat pengujian.

4.5.1 Hasil Perhitungan Debit Aktual

Pada hasil perhitungan ini, tangki penyemprotan diisi air sebanyak 1,5 liter kemudian pompa dioperasikan secara terus-menerus hingga seluruh cairan habis keluar melalui *nozzle*. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh waktu pengosongan tangki selama 6 menit.

Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung debit aktual menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{1{,}5\ L}{6}$$

$$Q = 0{,}25\ L/menit$$

$$Q = 250\ mL/menit$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh debit aktual sebesar 250 mL/menit. Dengan kapasitas tangki 1,5 liter, seluruh cairan habis dalam waktu sekitar 6 menit. Nilai tersebut masih sedikit lebih rendah dibandingkan target

perancangan, yaitu waktu pengosongan tangki selama 3–5 menit. Berdasarkan perhitungan, agar tangki habis dalam waktu 5 menit diperlukan debit sekitar 300 mL/menit, sedangkan untuk 3 menit diperlukan debit sekitar 500 mL/menit.

Meskipun demikian, selama pengujian pompa bekerja dengan stabil dan mampu mengalirkan cairan secara kontinu hingga tangki kosong tanpa gangguan pada *nozzle*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem penyemprotan telah berfungsi dengan baik. Nilai debit aktual tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk menghitung dan membandingkan debit teoritis menggunakan Persamaan *Orifice*.

4.5.2 Hasil Perhitungan Luas Penampang Nozzle

Pada penelitian ini digunakan *nozzle* kuningan tipe adjustable mist. Berdasarkan hasil analisis terhadap karakteristik *nozzle* dan hasil pengujian debit aktual, diameter efektif *nozzle* yang digunakan dalam perhitungan adalah 0,5 mm. Nilai tersebut digunakan sebagai dasar dalam menghitung luas penampang nozzle sebelum dilakukan perhitungan debit teoritis.

Luas penampang *nozzle* dapat dihitung sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0{,}0005)^2}{4}$$

$$A = \frac{3{,}1416\ (0{,}0005)^2}{4}$$

$$A = \frac{3{,}1416\ (2{,}5x10^{-7})}{4}$$

$$A = 1{,}9635 \times 10^{-7}\ m^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh luas penampang *nozzle* sebesar 1,9635 × 10^{-7} m². Nilai ini menunjukkan luas bukaan efektif *nozzle* yang menjadi jalur keluarnya fluida dan digunakan sebagai parameter utama dalam perhitungan debit teoritis menggunakan Persamaan *Orifice*. Besarnya luas penampang memengaruhi kapasitas aliran, sehingga semakin besar diameter efektif *nozzle* maka debit teoritis yang dihasilkan juga semakin besar.

Selain itu, luas penampang *nozzle* turut memengaruhi karakteristik penyemprotan. Pada *nozzle* tipe *mist*, bukaan yang relatif kecil menghasilkan aliran fluida berkecepatan tinggi sehingga membentuk butiran cairan yang halus. Karakteristik ini sesuai untuk aplikasi penyemprotan menggunakan *quadcopter* karena dapat menghasilkan distribusi cairan yang lebih merata pada area sasaran.

4.5.3 Hasil Perhitungan Menggunakan Persamaan Orifice

Pada penelitian ini, sistem *sprayer* menggunakan pompa diafragma DC 12 Volt dengan tekanan kerja maksimum sebesar 5 bar. Fluida yang digunakan dalam pengujian adalah air dengan massa jenis sebesar 1000 kg/m³, sedangkan koefisien debit *nozzle* diasumsikan sebesar 0,62 sesuai dengan karakteristik *orifice* yang umum digunakan pada perhitungan mekanika fluida. Luas penampang *nozzle* yang telah dihitung sebelumnya sebesar 1,9635 × 10^{-7} m² digunakan sebagai parameter utama dalam perhitungan debit teoritis.

Perhitungan debit teoritis dilakukan menggunakan Persamaan *Orifice* sebagai berikut:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

$$\sqrt{\frac{2(500000)}{1000}} = 31{,}62$$

$$Q = 0{,}62(1{,}9635 \times 10^{-7})(31{,}62)$$

$$Q = 3{,}85 \times 10^{-6}\ m^3/s$$

$$Q = 231\ mL/menit$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan *Orifice*, diperoleh debit teoritis sebesar 231 mL/menit. Nilai ini menunjukkan jumlah cairan yang secara teoritis dapat mengalir melalui *nozzle* berdiameter efektif 0,5 mm pada tekanan pompa 5 bar, dengan asumsi aliran ideal dan tekanan pompa konstan.

Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan debit aktual sebesar 250 mL/menit. Perbedaan keduanya relatif kecil, yaitu 19 mL/menit atau sekitar 7,6%. Selisih ini masih dapat diterima karena pada kondisi nyata terdapat rugi-rugi tekanan pada selang dan sambungan, karakteristik internal *nozzle*, serta fluktuasi tekanan pompa selama proses penyemprotan.

Selain itu, *nozzle* yang digunakan merupakan tipe *adjustable mist* berbahan kuningan yang memiliki ruang pusar (*swirl chamber*) sehingga fluida mengalami proses atomisasi sebelum keluar dari *nozzle*. Kondisi ini menyebabkan karakteristik aliran aktual tidak sepenuhnya sesuai dengan asumsi pada Persamaan *Orifice*. Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit teoritis memiliki kesesuaian yang baik dengan hasil pengujian, sehingga Persamaan *Orifice* dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik aliran pada sistem *sprayer* yang dirancang.

4.6 Pembahasan

4.6.1 Analisis Desain Tangki

Setelah proses perancangan selesai, diperoleh desain tangki berbentuk balok sederhana dengan kapasitas 1,5 liter menggunakan material *High Density Polyethylene* (HDPE). Desain ini dipilih karena mampu memenuhi kebutuhan sistem penyemprotan pada *quadcopter* dengan mempertimbangkan efisiensi aliran fluida, kekuatan material, dan kemudahan pemasangan.

Tangki dirancang dengan *outlet* di bagian bawah sehingga aliran fluida dapat memanfaatkan gaya gravitasi. Konfigurasi ini membantu memperlancar aliran cairan dan mengurangi sisa cairan yang tertinggal di dalam tangki setelah proses penyemprotan. Selain itu, bentuk balok memudahkan pemasangan pada rangka *quadcopter* sehingga tangki tetap stabil selama pengoperasian.

Material HDPE dipilih karena memiliki bobot yang ringan, tahan terhadap bahan kimia, dan cukup kuat untuk digunakan pada sistem penyemprotan. Secara keseluruhan, desain tangki yang dirancang telah memenuhi kebutuhan fungsional dan layak digunakan sebagai tangki pada sistem *sprayer quadcopter.*

4.6.2 Analisis dan Evaluasi Pengujian Sistem Sprayer

Berdasarkan hasil pengujian, sistem penyemprotan telah berfungsi sesuai dengan perancangan. Pompa DC 12 V mampu mengalirkan cairan secara kontinu menuju *nozzle* dengan aliran yang relatif stabil, sehingga menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik.

Namun, hasil penyemprotan masih menunjukkan distribusi cairan yang belum merata. Pada beberapa bagian, intensitas semprotan lebih tinggi dibandingkan area lainnya, yang mengindikasikan bahwa performa *nozzle* belum optimal. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti tekanan aliran pompa yang belum sepenuhnya stabil, karakteristik *nozzle*, serta posisi dan sudut pemasangan *nozzle*. Selain itu, ukuran *droplet* yang dihasilkan juga belum konsisten sehingga memengaruhi pola penyebaran cairan.

Secara keseluruhan, sistem penyemprotan telah bekerja dengan baik, tetapi masih diperlukan penyempurnaan pada bagian *nozzle* agar distribusi cairan menjadi lebih merata. Perbaikan dapat dilakukan melalui pengaturan tekanan aliran, penyelarasan posisi *nozzle*, dan penggunaan *nozzle* yang lebih sesuai dengan kebutuhan penyemprotan.

4.6.3 Analisis dan Evaluasi Hasil Uji Terbang

Berdasarkan hasil pengujian, *quadcopter* menunjukkan karakteristik penerbangan yang stabil pada kondisi tanpa beban tambahan. Gaya angkat dari keempat motor mampu menopang berat pesawat sehingga proses lepas landas, melayang, bermanuver, hingga mendarat dapat dilakukan dengan baik. Selain itu, *flight controller* memberikan respons yang baik terhadap perubahan posisi, sehingga sistem stabilisasi bekerja sesuai fungsinya.

Selama pengujian tidak ditemukan ketidakseimbangan pada rangka maupun sistem propulsi. Distribusi massa yang merata pada setiap lengan *quadcopter* turut mendukung kestabilan penerbangan dan menghasilkan respons kendali yang baik.

Pengujian ini dilakukan tanpa sistem penyemprotan sehingga hasilnya dijadikan sebagai acuan untuk membandingkan performa *quadcopter* setelah dipasang tangki berkapasitas 1,5 liter, pompa, dan *nozzle*. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan beban terhadap kemampuan terbang dan kestabilan *quadcopter*.

Secara keseluruhan, hasil uji terbang tanpa beban menunjukkan bahwa *quadcopter* memiliki performa yang baik dan layak digunakan sebagai platform pengembangan drone *sprayer*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap tangki dan sistem penyemprotan pupuk cair pada *quadcopter*, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Rancangan tangki pupuk cair berbentuk balok dengan kapasitas 1,5 liter menggunakan material *High Density Polyethylene* (HDPE) telah dapat dirancang bangun. Tangki yang dirancang memiliki konstruksi yang ringan, tahan terhadap bahan kimia, mudah dipasang pada rangka *quadcopter*, serta memberikan distribusi massa yang seimbang sehingga layak digunakan sebagai tangki penyemprotan pada sistem *quadcopter*.

2. Sistem penyemprotan pupuk cair pada *quadcopter* berhasil direalisasikan dengan mengintegrasikan tangki, pompa diafragma DC 12 V, saluran distribusi, dan *nozzle adjustable mist*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengalirkan cairan secara kontinu menuju *nozzle* sehingga proses penyemprotan dapat berlangsung dengan baik sesuai fungsi yang dirancang.

3. Pengujian sistem penyemprotan menunjukkan bahwa *quadcopter* mampu beroperasi dengan baik pada kondisi tanpa beban maupun setelah dipasang sistem penyemprotan. Sistem *sprayer* menghasilkan debit aktual sebesar 250 mL/menit dengan waktu pengosongan tangki sekitar 6 menit. Selain itu, hasil perhitungan menggunakan Persamaan *Orifice* menghasilkan debit teoritis sebesar 231 mL/menit dengan selisih sekitar 7,6% terhadap hasil pengujian. Selisih tersebut menunjukkan bahwa hasil teoritis memiliki kesesuaian yang cukup baik dengan kondisi aktual.

4. Pengembangan *quadcopter* sebagai alat bantu penyemprotan pupuk cair telah berhasil dilakukan. Berdasarkan hasil uji terbang, *quadcopter* tetap mampu melakukan proses *take-off, hover*, manuver, dan *landing* secara stabil meskipun membawa tangki berkapasitas 1,5 liter. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat dijadikan sebagai alternatif teknologi penyemprotan pupuk cair yang efektif dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut pada aplikasi pertanian presisi.

DAFTAR PUSTAKA

1. L. Iryani, Fithri N. P., A. M. Kadir, B. Irawan. Manufacturing Spar I Beam of UAV Wing Structure Made of Composite Material. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2019;11:556 - 562.
2. Iryani L, Wibowo SS. Perhitungan Failure Index Struktur Sayap Pesawat Terbang Tanpa Awak Ai-X1 dengan Menggunakan Kriteria Tsai-Hill Disimulasikan dengan Metode Elemen Hingga. Indonesian Journal of Aerospace (Internet). 2020 Nov. 6 (cited 2026 Jul. 30);18(Juni):43-51.
3. D. Prasetyo, L. Iryani. Rancang Bangun dan Modifikasi RPV Fixed Wing Untuk Misi Pemetaan: Kaji Sistem Instrumentasi. Prosiding 13th Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS). 2022; 13(1).
4. M. Winandi. Rancang Bangun Pesawat RPV Fixed Landing Gear untuk Keperluan Penyiraman Pupuk Cair: Kaji Sistem Instrumentasi. Prosiding 16th Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS). 2025; 16(1).
5. S. A. Syipa, L. Iryani. Rancang Bangun Pesawat RPV Fixed Landing Gear untuk Keperluan Penyiraman Pupuk Cair. Prosiding 16th Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS). 2025; 16(1).
6. M. R. Suryadiputra. Rancang Bangun dan Modifikasi RPV Fixed Wing dengan Retractable Landing Gear: Kaji Sistem Kendali Terbang. Bandung: Politeknik Negeri Bandung; 2023.
7. A. P. Nugroho. Perancangan dan Implementasi Quadcopter sebagai Wahana Udara Tanpa Awak. Jurnal Teknik Elektro. 2019; 11(2): 85-92.
8. R. A. Nugraha. Analisis Stabilitas dan Manuver Quadcopter pada Area Terbatas. Jurnal Teknik Mesin. 2020; 8(1): 45-52.
9. Hidayat Santoso, Rizal. Perancangan Sistem Tangki dan Pompa Elektrik untuk Aplikasi Cairan pada UAV. Jurnal Rekayasa Sistem. 2021; 10(3): 133-140.
10. R. Hidayat, M. Faisal. Analisis Sistem Penyemprot Elektrik pada Drone Pertanian. Jurnal Teknik Pertanian. 2022; 13(2): 101-109.
11. H. Kris., Santoso, D. Wahju. Pengembangan Sistem Penyemprotan pada Platform Pesawat Tanpa Awak Berbasis Quadcopter untuk Membantu Petani Mengurangi Biaya Pertanian dalam Mendorong Konsep Pertanian Pintar. Jurnal Nasional Teknologi Terapan. 2024.
12. J. Febrian, Y. Huda. Rancang Bangun Sistem Kontrol Penyemprotan Cairan Pestisida Otomatis Menggunakan Drone UAV Hexacopter. Jurnal Pendidikan Tambusai. 2024; 8(1).
13. K. Rahman, E. Novitasari, N. Lestari. Uji Efisiensi Lapang Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Berbasis Quadcopter Kapasitas Tangki 10 L dalam Pemupukan Tanaman Padi. Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian. 2025; 11(1).
14. Widiasari, C., & Dulan Este, R. S. A., Rancang Bangun Drone Quadcopter Tanpa Awak Penyiram Pupuk Tanaman. Jurnal Elementer. 2020; 6(2): 81-88.
15. Destinirenza, A., & Rizky, E. A.. Pengembangan Drone untuk Keperluan Penyemprotan Tanaman Padi. Diploma Thesis. Politeknik Negeri Ujung Pandang; 2022.