



# Riset Pesawat Udara Nir Awak di FTMD ITB: Pengembangan, Hasil, dan *Lessons Learned*

Nathan<sup>1</sup>, Edwin Aldrian Santoso<sup>2</sup>, Yazdi Ibrahim Jenie<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Dirgantara, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung,  
Bandung, Indonesia

e-mail : [nathan201297@students.itb.ac.id](mailto:nathan201297@students.itb.ac.id)

**Abstrak**— Artikel ini menjabarkan beberapa kegiatan riset di Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung (FTMD-ITB), yang berfokus pada Pesawat Udara Nir Awak, atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Wahana UAV yang telah berkembang pesat dan sangat populer di dunia maupun di Indonesia untuk keperluan sipil, pada awalnya dikembangkan di ranah militer. Hingga kini, perkembangannya di ranah militer untuk teknologi UAV terus berjalan dengan pesat untuk mendukung daya gerak dan daya gempur dalam menyelesaikan berbagai misi tempur modern. Seiring dengan semakin berkembangnya teknologi UAV, riset pada teknologi tersebut, di berbagai lembaga riset nasional, termasuk di FTMD-ITB juga semakin banyak dan bervariasi. Meskipun demikian, hingga saat ini dapat dikatakan bahwa riset-riset tersebut belum mencapai hasil yang diinginkan, utamanya dalam segi Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)nya. Artikel ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi FTMD-ITB sendiri secara khusus, dan instansi riset lainnya secara umum, untuk dapat melaksanakan kegiatan riset yang lebih baik, hingga dapat berkontribusi pada penguasaan teknologi UAV di Indonesia, baik di ranah sipil, maupun di ranah militer. Dari berbagai riset UAV yang dilakukan di FTMD-ITB, tiga tipe UAV akan dijabarkan pada artikel ini, yakni MAV/NAV, HALE, dan Folding Wing. Ketiganya memiliki kesamaan dari segi luarnya yang harus berupa suatu produk. Dari ketiganya diketahui, bahwa riset pengembangan produk UAV haruslah didukung oleh fasilitas di lembaga riset, baik untuk manufaktur cepat, maupun untuk pengujian terbang, karena sifatnya yang tidak konvensional.

**Kata Kunci**— UAV, FTMD ITB, MAV/NAV, HALE, *Folding Wing*

## I. PENDAHULUAN

**U***n**mann**ed Aerial Vehicle* (UAV), atau Pesawat Udara Nir Awak (PUNA), atau *drone*, semakin populer penggunaannya di Indonesia, maupun di dunia. Popularitas ini sebagian besar dicapai karena semakin banyaknya aplikasi dari UAV di ranah sipil, seperti dalam rekreasi (mainan), *aeromodelling*, fotografi udara, pengamatan lahan hutan/perkebunan, dan lain sebagainya [1]. Akan tetapi, sebelum menjadi populer di kalangan pehobi sipil, salah satu aplikasi awal dari UAV adalah di ranah militer, terutama sebagai sasaran tembak (*aerial target*) dan misi pengamatan (*surveillance*) [2]. Dari situ, perkembangan teknologi UAV untuk mendukung berbagai kebutuhan militer terus-menerus meningkat. Aplikasi UAV pada bidang militer perlu memiliki kemampuan khusus untuk mendukung daya gerak dan daya gempur dalam menyelesaikan berbagai misi seperti *swarming surveillance mission*, *object tracking*, *target acquisition*, *intelligence*, *communication relay*, dan bahkan kamikaze drone yang membawa hulu ledak.

Seiring dengan semakin berkembangnya teknologi UAV, riset di kalangan academia, yang berfokus pada teknologi tersebut juga semakin banyak dan bervariasi. Hal ini juga terlihat pada riset di Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung (FTMD-ITB),

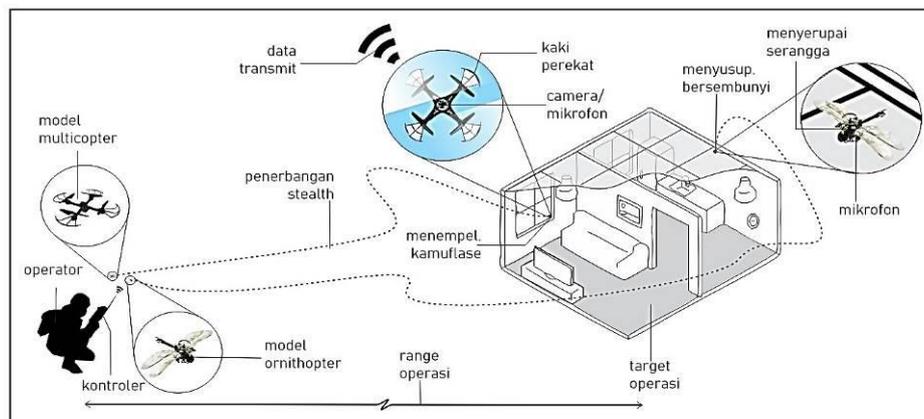
dimana sebagian besar dari road-map penelitian setiap kelompok keahlian, selalu mengedepankan pengembangan *Unmanned System*. Riset-riset tersebut ditujukan salah satunya agar baik dosen maupun lulusan dari FTMD-ITB dapat bersaing di masa depan, dimana pada skema *industry 4.0*, perkembangan teknologi UAV hanya akan bertambah pesat. Beberapa diantara UAV yang menjadi topik riset-riset terbaru di FTMD-ITB adalah: High Altitude Long Endurance (HALE) UAV, Medium Altitude Long Endurance (MALE) UAV, Tactical/Mini UAV, Micro Aerial Vehicle (MAV), Nano Aerial Vehicle (NAV), hingga konfigurasi UAV unik seperti *folding wing* dan *flapping wing*. Hampir seluruhnya berada dan didukung oleh instansi militer di Indonesia.

Meskipun demikian, hingga saat ini dapat dikatakan bahwa riset-riset tersebut belum mencapai hasil yang diinginkan, utamanya dalam segi Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)nya. Sebagai institusi riset terkemuka di Indonesia, diharapkan hasil riset tidak hanya terhenti sebagai artikel jurnal, tetapi mampu menjadi produk yang berpotensi unggul, dan memenuhi TKT, alias siap untuk ditawarkan ke industri. Paten yang berkaitan dengan riset-riset tersebut juga masih berjumlah sedikit. Kondisi ini menjadi indikasi diperlukannya perbaikan dari proses kegiatan dari riset-riset tersebut.

Oleh karena itu, artikel dengan tujuan utama untuk berbagi pengalaman dari riset UAV di FTMD-ITB ini ditulis. Diharapkan artikel ini dapat menjadi acuan bagi FTMD-ITB sendiri secara khusus, dan instansi riset lainnya secara umum, untuk dapat melaksanakan kegiatan riset yang lebih baik, hingga dapat berkontribusi pada penguasaan teknologi UAV di Indonesia, baik di ranah sipil, maupun di ranah militer. Dari berbagai riset UAV yang dilakukan di FTMD-ITB, tiga tipe UAV akan dijabarkan pada artikel ini, dimana ketiganya memiliki kesamaan dari segi luarannya yang harus berupa suatu produk. Dari tiga tipe UAV akan dibahas pada artikel ini, yang pertama adalah wahana MAV/NAV, suatu UAV yang berukuran kecil ini bisa diaplikasikan dalam bidang militer untuk pengintaian karena tidak mudah terlihat. Tipe kedua adalah HALE UAV, yakni UAV yang memiliki durasi terbang yang lama dan beroperasi pada ketinggian tinggi sekitar 60.000ft. dan yang ketiga adalah *folding wing* UAV, yang memiliki fitur khas berupa sayap yang dapat dilipat sehingga pesawat dapat dimasukkan ke dalam pipa berukuran 6 inci, agar mudah dibawa (*portable*).

## II. MICRO AERIAL VEHICLE (MAV) / NANO AERIAL VEHICLE (NAV)

Tipe atau jenis UAV yang bisa diaplikasikan untuk kebutuhan militer adalah *micro aerial vehicle* (MAV) dan *nano aerial vehicle* (NAV). Karena ukurannya yang kecil, kedua jenis *quadrotor* tidak mudah terlihat dan cocok digunakan untuk pengintaian. Fitur lain yang perlu ada pada wahana ini agar semakin baik untuk pengintaian adalah suara dari UAV yang harus senyap sehingga tidak terdeteksi saat melakukan pengintaian. Wahana ini juga harus mampu dikendalikan dari jarak yang cukup jauh, sehingga operator dapat melakukan operasi tanpa terlihat dari daerah operasi. Skema dari sistem pengintaian menggunakan MAV/NAV adalah sebagai berikut.



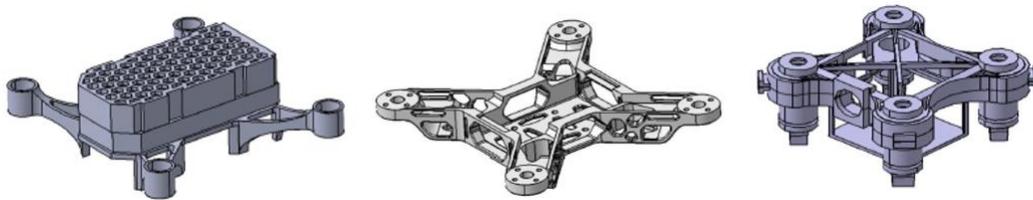
Gambar 1. Gambaran Umum Misi Intelijen dan Pengawasan Senyap

Penggunaan wahana ini untuk penyadapan informasi sangatlah penting dan efektif untuk kebutuhan intelejen. Bentuk dari UAV juga bisa disesuaikan sehingga tidak terlihat mencolok saat menjalankan misi. Dalam misionya, UAV diharapkan mampu beroperasi secara autonomus karena operator tidak dapat selalu melihat lokasi dari wahana saat menjalankan misi. Aplikasi lain dari wahana ini adalah untuk melakukan pengamatan pada daerah-daerah yang sulit diakses misalnya daerah bencana, area pertambangan, cagar budaya, dan hutan lindung. Wahana juga mampu menyamarkan diri sehingga tidak mengganggu objek yang ingin diamati.

Saat ini proses pengembangan teknologi MAV dan NAV sedang dilakukan di Institut Teknologi Bandung (ITB). Proyek ini dikembangkan dari berbagai macam jurusan yang ada di ITB seperti Teknik Dirgantara, Teknik Mesin, Teknik Elektro, dan Teknik Fisika. Desain dari MAV dan NAV dibuat terinspirasi dari desain mikro ataupun mini *quadrotor* yang dijual secara komersil. Kegiatan pengembangan teknologi yang dilakukan melalui tahapan-tahapan yakni: administrasi, penelitian, perancangan, pengembangan fasilitas, produksi, dan pengujian. Diharapkan pengembangan teknologi ini bisa mencapai *Technology Readiness Level (TRL)* 3.

#### A. Proses Manufaktur

Proses manufaktur dari rangka MAV dan NAV ini menggunakan metode *3D printing* atau dikenal juga sebagai *Additive Layer Manufacturing*. Beberapa jenis material dapat digunakan pada *3D printing*, namun yang akan digunakan untuk proses manufaktur adalah *Polyactic Acid (PLA)*. Pemilihan material ini didasari pada kecepatan cetak lebih tinggi dan hasil *printing* yang lebih akurat. Desain dari MAV dan NAV dibuat menggunakan bantuan perangkat lunak CATIA. Terdapat dua desain untuk rangka dari MAV dan satu desain untuk frame dari NAV.



Gambar 2. Desain MAV (kiri dan tengah) dan Desain NAV (kanan)

Desain ini kemudian disimulasikan dengan perangkat lunak *Finite Element Method (FEM)* Abaqus untuk mengetahui kekuatan dari struktur wahana yang materialnya merupakan PLA apabila mengalami pembebanan saat beroperasi.



Gambar 3. Fasilitas 3d-printer PLA (kiri dan tengah) dan Resin (kanan)

### B. Flight Controller System

Kajian teknis mengenai sistem *flight control* dari wahana juga dibuat sedemikian sehingga wahana bisa terbang dengan stabil dan dapat dikendalikan. *Software* perancangan sistem kendali yang digunakan adalah EAGLE, untuk mengkalkulasi sikap terbang dari wahana. PCB didesain untuk ukuran wahana yang sesuai dan program *firmware flight controller* dimasukkan ke modul PCB. Pergerakan dari wahana akan terdeteksi oleh *Inertial Measurement Unit* (IMU), dan responnya akan diberikan oleh *flight controller* sehingga wahana tetap stabil.

### C. Komponen Pendukung

Terdapat juga komponen-komponen lain yang diperlukan sehingga sistem UAV dapat berjalan dengan sempurna. Beberapa komponen dapat dibeli secara komersial dengan spesifikasi standar, seperti *Electronic Speed Controller* (ESC), baterai, *propeller*, motor, dan *payload* seperti kamera atau mikrofon. Dikembangkan pula *interface controller* dari UAV yang digunakan oleh pilot atau operator sehingga lebih mudah dalam mengoperasikan wahana mempertimbangkan sisi desain dan estetika. Setelah itu, seluruh komponen dirakit dan dilakukan uji terbang wahana. Berikut adalah wahana MAV dan NAV yang dihasilkan, beserta komponen-komponen pendukungnya.



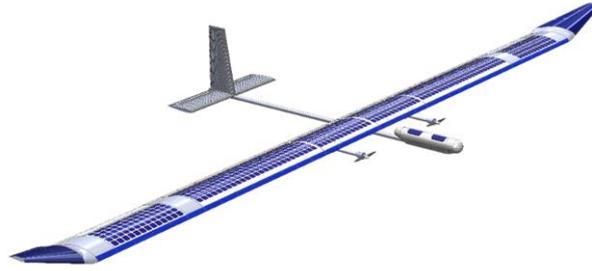
Gambar 4. Seluruh Hasil MAV dan NAV

## III. HIGH ALTITUDE LONG ENDURANCE (HALE) UAV

HALE adalah suatu jenis UAV yang mampu untuk terbang dalam jangka waktu yang lama. Dengan keunggulan ini, HALE mampu menjalankan misi pengamatan secara efisien [3]. Wahana HALE pun dikembangkan untuk bisa berkomunikasi dengan satelit dalam operasinya, sehingga data yang diambil saat pengamatan yang terus menerus dapat ditransfer kepada pengamat yang ada di bumi. Dalam bidang militer dan untuk kepentingan peralatan alutsista, HALE dapat diaplikasikan untuk menjaga dan mengawasi daerah-daerah wilayah perbatasan NKRI, baik perbatasan darat maupun laut. Ketinggian terbang HALE yang lebih tinggi dari pesawat terbang komersial juga bisa membuat HALE mampu mengamati pesawat-pesawat yang secara ilegal masuk ke wilayah ruang udara NKRI.

### A. Desain HALE UAV

HALE mampu terbang secara autonomous, dengan menggunakan tenaga *hybrid* dari matahari menggunakan *solar panel*, dan juga baterai. Jadi wahana ini tidak perlu pengaturan aktif dan bisa beroperasi secara terus menerus. Teknologi yang menjadi penting dalam desain HALE sehingga wahana ini mampu menjalankan misinya adalah konfigurasi dari sayap yang memiliki aspek rasio yang sangat tinggi, sehingga dapat memberikan performa aerodinamika yang sangat baik. Selain aerodinamika, optimasi dan pengembangan teknologi dari sisi struktur, sistem propulsi, kestabilan pesawat, sistem daya, dan sistem navigasi juga menjadi faktor yang penting.



Gambar 5. Desain HALE UAV

Saat ini, HALE sedang dikembangkan di Institut Teknologi Bandung (ITB) khususnya di program studi Teknik Dirgantara. Wahana ini sudah mulai dikembangkan sejak tahun 2005 didahului dengan pengembangan *Mid-Range* dan *Long-Range* UAV, dan terfokus kepada HALE mulai tahun 2016 sampai saat ini. Bentuk dan ukuran sayap dari HALE selalu berubah dalam setiap fase perkembangannya yang merupakan tahap optimisasi desain dari pesawat. Saat ini, konfigurasi *wingspan* sayap untuk HALE adalah 21 meter, menggunakan dua mesin *propeller*, memiliki kekuatan struktur yang baik, dan sudah terpasang solar panel, dan kapasitas baterai yang sesuai. Teknologi yang dikembangkan ini sudah hampir mencapai *Technology Readiness Level* (TRL) 6.

### B. Prototype HALE



Prototype v1.0



Prototype v2.1



Prototype v2.0



Prototype v3.0

Gambar 6. Prototype HALE UAV

Sejauh ini telah dilakukan serangkaian uji terbang *prototype* v1.0 hingga *proptype* v3.0 untuk menguji komponen dan juga sebagai rangkaian dari proses optimisasi desain. Pengembangan dan optimisasi desain terus dilakukan untuk HALE UAV selama tiga tahun kedepan mulai tahun 2019. Tahun ini, pengujian komponen, pengintegrasian komponen, uji terbang, sertifikasi, uji produksi, dan penjualan wahana secara komersil akan dilakukan.

Karena ukurannya yang sangat besar, HALE memerlukan mekanisme khusus saat peluncuran (*launch*) dan saat mendarat (*landing*). Pada mekanisme peluncuran, HALE dapat menggunakan *launch cart* seperti yang dilakukan pada uji coba terbang *prototype* v3.0, atau menggunakan *hand launch* seperti yang dilakukan untuk *prototype* v1.0 dan v2. Disisi lain, wahana ini juga dapat diluncurkan menggunakan *pneumatic catapult launcher*. Sedangkan mekanisme *landing* dapat dilakukan dengan cara *ground landing*, *landing* menggunakan alat bantu seperti parasut atau melakukan pendaratan pada permukaan air.

#### IV. TUBE LAUNCH FOLDING WING UAV

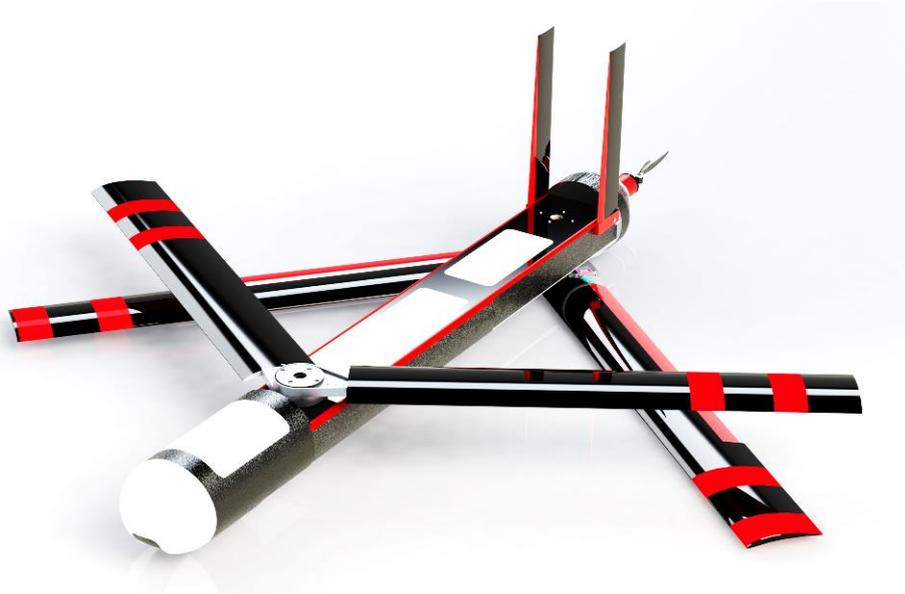
*Tube launch folding wing* UAV didesain agar sayap pesawat dapat dilipat dan dimasukkan ke dalam tabung yang sekaligus berfungsi sebagai peluncur. Proses peluncuran wahana dapat dilakukan dengan sangat cepat menggunakan *pneumatic launcher* pada tekanan 8-10 bar. Kemudian sayap akan terbuka secara otomatis menggunakan pegas sesaat setelah wahana diluncurkan dan menjalankan misi tertentu. Peluncuran UAV dapat dilakukan dengan metode *multilaunch* dari berbagai medan, baik darat, laut, bahkan udara dalam jumlah yang banyak sekaligus. Berikut adalah skema misi *swarming* dari wahana ini.

Dengan keunggulan yang dimiliki, *Tube Launched Folding Wing UAV* dapat digunakan sebagai alutsista berupa wahana tak berawak yang dapat diluncurkan dengan cepat dan dalam segala situasi untuk memenuhi kebutuhan pengguna untuk mendukung daya gempur dan daya gerak serta berfungsi sebagai pengawas, pengintai maupun pengamat untuk menjaga daerah perbatasan NKRI. Pengembangan wahana ini telah mencapai *Technology Readiness Level* (TRL) 5.

##### A. Desain Tube Launch Folding Wing UAV

Konfigurasi wahana ini terdiri dari *canard*, sayap, *dual vertical tail*, dan motor elektrik sebagai pendorong [4]. UAV ini harus dapat dimasukkan ke dalam pipa berdiameter 6 inci, sehingga panjang *chord* dibatasi oleh tabung. Oleh karena itu, dipilih desain *tandem wing* untuk memberikan gaya angkat yang cukup. Disisi lain, UAV juga dirancang untuk menggunakan *dual VTP* untuk memberikan stabilitas *lateral-direksional* yang cukup.

*Pneumatic launcher* yang dikembangkan menggunakan tabung APAR sebagai *reservoir tank* berisi udara bertekanan 10 bar yang dihubungkan dengan *ball valve pneumatic actuator*. Kemudian solenoid akan di-*trigger* menggunakan sinyal Wi-Fi sehingga memicu aktuator hingga *ball valve* terbuka secara langsung. Setelah *ball valve* terbuka, maka udara dalam *pressure tank* akan mendorong wahana bermassa 5kg dalam pipa 6 inci hingga ketinggian 10 meter.



Gambar 7. Desain *Folding Wing* UAV

##### B. Desain Peluncur Pneumatic



Gambar 8. Desain *Pneumatic Launcher*

## V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dengan berbagai tipe UAV, atau pesawat udara nir awak yang telah dikembangkan di FTMD ITB, utamanya yang ditujukan untuk ranah militer, beberapa kesimpulan dan rekomendasi dapat ditarik, antara lain sebagai berikut:

1. UAV memiliki ragam dan peruntukan misi yang jauh lebih bervariasi daripada pesawat udara berpenumpang. Desain-desain yang tidak konvensional menjadi hal yang lumrah, tetapi harus tetap bersandar pada dasar teori Teknik Dirgantara yang benar.
2. Manufaktur dari UAV, juga dari komponen pendukungnya, juga jauh lebih bervariasi. Untuk dapat mengakomodir desain yang unik, peralatan dan fasilitas yang dapat mendukung konstruksi secara cepat (*rapid-prototyping*) menjadi krusial, seperti 3D pirnter atau mesin CNC, meskipun belum berlevel industri.
3. Akibat ketidak-konvensionalannya pula, jarang sekali dihasilkan suatu UAV yang layak terbang pada percobaan-percobaan awal. Hal ini menandakan kurangnya pemahaman akan konversi ilmu kedirgantaraan konvensional kepada wahana UAV. Karena hal ini jualah, riset UAV haruslah merupakan riset yang Panjang dan berkelanjutan, sebelum mencapai TKT yang diinginkan.
4. Fasilitas dan metode uji menjadi penting untuk dikembangkan, dimana riset UAV tidak bisa hanya bersandar pada teori. Tersedianya lapangan pengujian terbang dan terdokumentasinya hasil pengujian secara rapi seharusnya menjadi standar bagi setiap lembaga riset yang berfokus pada UAV.
5. Variasi dari riset UAV hanya akan terus bertambah, sehingga penting bagi suatu lembaga riset UAV untuk mengatur road-mapnya, untuk dapat memenuhi kebutuhan riset diberbagai tipe UAV, dengan tidak mengesampingkan riset yang berkelanjutan hingga TKT yang diinginkan.

## VI. REKOGNISI

Pengembangan pesawat udara nir awak MAV/NAV didukung oleh proyek Riset Intelijen Institut Teknologi Bandung tahun 2018. Pengembangan HALE UAV didukung oleh proyek Riset Inovatif Produktif (RISPRO) LPDP tahun 2019. Pengembangan *Tube Launch Folding Wing* UAV didukung oleh proyek Program Pengembangan Teknologi Industri (PPTI) dibawah KEMENRISTEKDIKTI 2019.

## VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] DeGarmo, M T, Nelson, G M, *Prospective Unmanned Aerial Vehicle Operations in the Future National Airspace System*, in AIAA 4th Aviation Technology, Integration, and Operations Forum, ATIO(AIAA, 2004) pp. 172–179
- [2] K. Dalamagkidis, K.P. Valavanis, and L.A. Piegl, *On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System*, In the International Series on Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering, Vol. 36 (Springer Science+Business Media, 2009)
- [3] Faber Y. Silitonga and M. Agoes Moelyadi, *Comparative Study of Wing Lift Distribution Analysis for High Altitude Long Endurance (HALE) Unmanned Aerial Vehicle*, J. Phys.: Conf. Ser. **1005** 012036
- [4] Nurhayyan H. Rosid *et al.* 2018. *Aerodynamic Characteristics of Tube-Launched Tandem Wing Unmanned Aerial Vehicle*. J. Phys.: Conf. Ser. **1005** 01201



**Nathan, ST** adalah mahasiswa magister Teknik Dirgantara Institut Teknologi Bandung (ITB). Penulis memulai studinya di Teknik Dirgantara ITB sejak tahun 2015 dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (B.Sc) dari ITB pada tahun 2019. Selama berkuliah, penulis tercatat sebagai mahasiswa berprestasi utama ITB tahun 2018. Penulis juga pernah mengikuti tim Aksantara ITB sebagai unit kegiatan mahasiswa yang berfokus pada riset dan pengembangan UAV di ITB. Selama 2 tahun di Aksantara ITB, penulis pernah meraih juara 2 Kontes Robot Terbang Indonesia (KRTI) divisi *Technology Development* pada tahun 2017 dengan mulai mengembangkan *tube launch folding wing* UAV serta menjadi ketua umum Aksantara ITB pada tahun berikutnya. Saat ini, penulis juga melakukan riset mengenai optimisasi topologi sekaligus menjadi topik tesis dan proyek pengembangan *folding wing* UAV bersama dosen di Teknik Dirgantara, Dr. Ing. Mochammad Agoes Moelyadi St, M.Sc. melalui program PPTI KEMRISTEKDIKTI.



**Edwin Aldrian Santoso** adalah mahasiswa sarjana Teknik Dirgantara Insitut Teknologi Bandung tahun 2016. Penulis merupakan mahasiswa terbaik tingkat program studi pada tahun 2019 dan telah berhasil meraih prestasi pada beberapa lomba tingkat nasional untuk kategori mahasiswa baik dibidang sains maupun pengembangan teknologi yakni sebagai peraih medali emas ON-MIPA PT tahun 2017 bidang fisika dan juara pertama untuk hovercraft competition di MMENE UI 2018. Saat ini penulis sedang berada di tahun akhir dan sedang menulis tugas akhir untuk program sarjana. Topik tugas akhir yang sedang ditulis mengenai pembuatan program (code) untuk menyimulasikan partikel ion pada electric thruster untuk deep space program satellite.



**Dr. Yazdi Ibrahim Jenie, ST, MT**, adalah lektor di Fakultas Teknik Mekanik dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung (ITB) sejak tahun 2015. Penulis memulai studinya di Teknik Dirgantara ITB pada tahun 2001, sebelum memperoleh gelar Sarjana Teknik (B.Sc) dari ITB pada tahun 2006. Tidak lama kemudian, penulis memulai program magisternya di ITB sebagai bagian dari pengembangan proyek nasional *Wing in Surface Effect* (WISE), dimana penulis memperoleh gelar Magister Teknik (M.Sc) dengan pujian tahun 2008. Pada pertengahan 2011 penulis memulai Program Doktornya di *Aerospace Engineering* di Universitas Teknologi Delft, Belanda. Topiknya difokuskan pada pesawat tanpa awak (UAV), terutama pada sistem *conflict detection* dan *resolution system*. Penulis menyelesaikan penelitiannya dan menerima gelar doktoralnya pada Januari 2017. Penelitiannya saat ini bergerak di bidang dinamika penerbangan, simulasi, kontrol penerbangan, dan sistem otonomus.