

CONCEPTUAL DESIGN OF ELECTRICAL DUCTED FAN (EDF)

Buyung Junaidin¹⁾, M. Ardi Cahyono²⁾

Departemen Teknik Dirgantaraan, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jl. Janti Blok R Lanud Adisutjipto Yogyakarta
Email : ¹buyung112011@gmail.com

Abstract

Electric Ducted Fan (EDF) is an electric propulsion consist of duct, fan and electric motor with main power source is from battery which generates compression air for thrust. EDF is used as an alternative propulsion for high speed UAV especially for target UAV or "bomb" controlled UAV. It's design is very simple and no need extra maintenance compared to jet engine. Design process of an EDF is more simple than a jet engine, nevertheless it could obtain enough thrust for high speed flying. The aim of this research is to design an EDF as an alternative propulsion for high speed UAV and performance analyzing of EDF using analitical approach. Design of EDF produce an EDF with inlet and outlet diameter are 70mm and 60mm. Total length of EDF is 116,1mm. Performance analysis of EDF shows that by 700W of motor power could reach 16N of thrust which is accepted performace for 70mm EDF.

Keywords: Design, Electric Ducted Fan (EDF).

1. Pendahuluan

Perkembangan pesawat udara tanpa awak atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) yang sangat pesat menghasilkan berbagai macam jenis, ukuran maupun karakter UAV. Salah satu yang berkembang adalah *high-speed* UAV. Jenis ini memiliki kecepatan tinggi di atas rata-rata UAV biasanya dan biasa digunakan sebagai target udara dalam latihan militer atau digunakan sebagai alternatif "bom" kendali jarak jauh. *High-speed* UAV mengharuskan penggunaan propulsi dengan gaya dorong besar sehingga pesawat mampu mencapai kecepatan tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan itu, maka propulsi jet sangat cocok diaplikasikan untuk *high-speed* UAV. Akan tetapi, penggunaan jet engine membutuhkan biaya yang cukup besar, baik dalam hal produksi dan pengembangan maupun operasionalnya. Selain itu, sistem jet engine yang kompleks membutuhkan perawatan ekstra sehingga akan menambah biaya yang dibutuhkan. Sebagai alternatifnya, penggunaan propulsi elektrik sangat membantu dalam mengurangi biaya produksi dan operasional. Bentuk propulsi elektrik yang dimaksud adalah *electric ducted fan* (EDF). *Electric Ducted Fan* (EDF) merupakan propulsi elektrik yang terdiri dari *duct*, *fan* dan motor elektrik dengan sumber tenaga motor berasal dari baterai sehingga dapat menghasilkan udara terkompresi yang menghasilkan gaya dorong.

Perancangan dan konfigurasi EDF lebih sederhana dibandingkan dengan jet engine, namun dapat menghasilkan gaya dorong yang cukup untuk kebutuhan terbang cepat seperti pada *high-speed* UAV. Perbedaan utama antara EDF dengan motor-propeler biasa adalah terletak pada penggunaan *duct* sebagai penambah kecepatan aliran dan *fan* yang menghasilkan kompresi udara lebih besar, sehingga dapat menghasilkan gaya dorong yang lebih besar dibandingkan dengan motor-propeler biasanya dengan spesifikasi motor dan ukuran diameter rotor yang sama. Penelitian tentang perancangan EDF sebagai alternatif sistem propulsi untuk UAV masih sangat sedikit dipublikasikan sehingga informasi dan referensi dalam melakukan penelitian yang sama masih sangat minim. Hal ini dikarenakan EDF telah menjadi benda komersil yang memiliki paten bagi perancangannya sehingga tidak

semua informasi mengenai proses perancangan EDF dipublikasikan. Alternatif yang bisa digunakan sebagai informasi adalah artikel tentang *ducted fan* dan penelitian tentang perancangan *duct* sebagai pengarah aliran udara. Pada tahun 2013, Sharman R.A. dan Cheng menulis artikel dengan judul *Electric Ducted Fan – theory and practice* yang menjelaskan bagaimana proses perancangan dan analisis EDF dengan prinsip konservasi massa. Dalam artikel tersebut tidak dijelaskan bagaimana cara merancang bentuk difuser dan fan dari EDF. Pada tahun 2005, Pereira dan Chopra melakukan penelitian pengaruh bentuk *diffuser duct* terhadap nilai *thrust* yang dihasilkan. Dari hasil penelitian mereka diperoleh konfigurasi *diffuser duct* yang optimal.

Penelitian tentang *duct* lebih banyak fokus pada perancangan *duct* sebagai pengarah aliran dari putaran propeler, sangat sedikit yang melakukan penelitian khusus tentang EDF sebagai alternatif sistem propulsi UAV. Fokus dari penelitian ini adalah melakukan perancangan EDF sebagai alternatif propulsi pesawat UAV dan melakukan analisis performa EDF dengan pendekatan analitik.

2. Metodologi Penelitian

Metode perancangan *duct* dari EDF dalam penelitian ini menggunakan prinsip konservasi massa [1] dengan asumsi – asumsi yang dilibatkan antara lain: aliran udara dianggap tidak terkompresi (*incompressible flow*) karena perubahan temperatur udara tidak signifikan, gesekan pada permukaan *duct* dianggap tidak ada (*frictionless duct*), bentuk penampang potong *duct* adalah lingkaran mengikuti bentuk *fan* serta ukuran efektif EDF berdasarkan luas sapuan *fan* dari EDF.

Analisis performa EDF menggunakan prinsip konservasi massa dengan asumsi – asumsi yang melibatkan antara lain: aliran udara dianggap tidak terkompresi (*incompressible flow*), gesekan pada permukaan *duct* dianggap tidak ada (*frictionless duct*), bentuk penampang potong *duct* adalah lingkaran serta ukuran efektif EDF berdasarkan luas sapuan *fan* dari EDF.

Prinsip konservasi massa menyatakan bahwa laju aliran massa udara yang melewati *duct* adalah konstan sesuai persamaan 2.1.

$$(\dot{Q}_i = \rho A_i v_i) = (\dot{Q}_o = \rho A_o v_o), \text{ dimana } \rho = \text{constant} \quad (2.1)$$

Kecepatan aliran udara di *outlet* dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$v_o = \frac{A_i}{A_o} v_i \quad (2.2)$$

Thrust yang dihasilkan oleh *duct* dikarenakan adanya perubahan momentum dari massa udara yang bergerak, dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$T = M\Delta v, \text{ dimana } \Delta v = v_o - v_i \quad (2.3)$$

Daya yang dibutuhkan dari EDF untuk terbang dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$P_{flight} = T v_i \quad (2.4)$$

Daya yang dihasilkan EDF karena adanya aliran masuk merupakan energi kinetik dari massa udara yang masuk, dihitung dengan persamaan 2.5.

$$P_{gain} = \frac{1}{2} M v_i^2 \quad (2.5)$$

Sedangkan daya yang hilang akibat aliran udara yang meninggalkan EDF, dapat dihitung dengan persamaan 2.6.

$$P_{loss} = \frac{1}{2} M v_o^2 \quad (2.6)$$

Daya yang dihasilkan *fan* dari EDF dapat dihitung dengan persamaan 2.7.

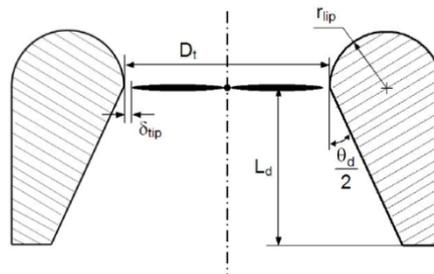
$$P_{fan} = P_{loss} - P_{gain} \quad (2.7)$$

Nilai efisiensi fan dan motor EDF dapat dihitung dengan persamaan 2.8a dan 2.8b.

$$\eta_{fan} = \frac{P_{flight}}{P_{fan}} \quad (\text{biasanya sekitar } 80\%) \quad (2.8a)$$

$$\eta_{motor} = \frac{P_{fan}}{P_{motor}} \quad (\text{biasanya sekitar } 85\%) \quad (2.8b)$$

Analisis performa EDF meliputi analisis *thrust* statis dan dinamik dari EDF serta perbandingan daya yang dibutuhkan dengan daya yang dihasilkan EDF. Selain itu, rujukan penelitian sebelumnya [2] digunakan untuk menentukan konfigurasi diffuser dari *duct* sesuai gambar 1. Menurut Pereira & Chopra konfigurasi optimal untuk *duct* adalah *blade tip clearance* (δ_{tip}) = 0,1% D_t , radius *inlet lip* (r_{lip}) = 13% D_t , sudut difuser (θ_d) = 10° dan panjang difuser (L_d) = 50%-72% D_t . Konfigurasi ini menghasilkan *thrust* 90% lebih tinggi untuk propeler dibandingkan tanpa menggunakan duct.

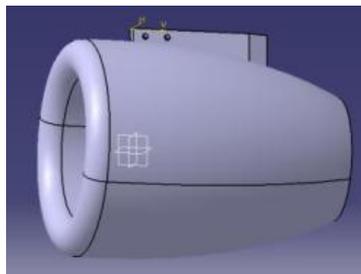


Gambar 1. Parameter difuser.

(Sumber Pereira & Chopra, 2005)

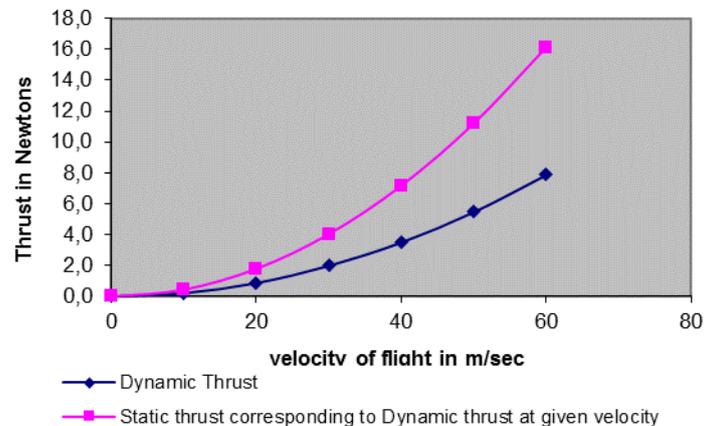
3. Hasil dan Pembahasan

Proses perancangan EDF dimulai dengan penentuan diameter *inlet duct* yang ditetapkan 70mm sama dengan diameter *duct* pabrikan yang telah ada sebelumnya dengan kategori mini EDF berdasarkan klasifikasi ukuran salah satu pabrikan EDF (Wemotec), sedangkan diameter *outlet duct* adalah 60mm [3,4]. Diameter dalam dan panjang tempat motor masing-masing 35mm dan 60mm. Geometri difuser EDF diperoleh berdasarkan referensi [2] antara lain: *blade tip clearance* (δ_{tip}) = 1mm (pembulatan darai 0,7mm untuk keperluan manufaktur), radius *inlet lip* (r_{lip}) = 9,1mm, sudut difuser (θ_d) = 10° dan panjang difuser (L_d) = 27mm. Dari hasil perhitungan panjang EDF tanpa fan *cone* dan motor *cone* adalah 96,1mm, dengan asumsi panjang fan *cone* dan motor *cone* masing-masing 10cm, sehingga total panjang EDF 116,1mm. Geometri EDF yang telah diperoleh selanjutnya dibuat model tiga dimensi menggunakan bantuan *software* CAD. Model tiga dimensi EDF hasil perancangan sesuai gambar 2.

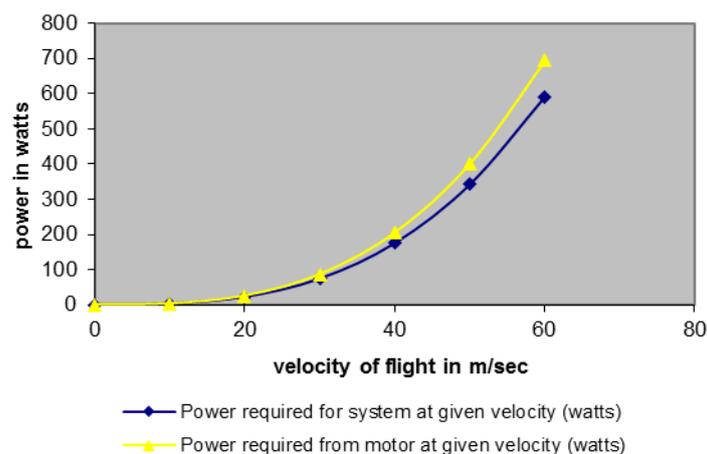


Gambar 2. Model 3D EDF hasil perancangan

Performa EDF dianalisis dengan pendekatan analitik dan prinsip konservasi massa. Hasil perhitungan performa EDF meliputi *thrust* pada kondisi statis dan dinamik serta daya yang dihasilkan.



Gambar 3. Hasil perhitungan nilai *thrust* EDF



Gambar 4. Hasil perhitungan daya EDF

Pada gambar 3, *thrust* statis diperoleh dari perhitungan dengan asumsi bahwa EDF pada kondisi diam, sedangkan *thrust* dinamik dihitung dengan asumsi EDF bergerak bersama pesawat UAV. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *thrust* statis lebih besar dari *thrust* dinamik, hal ini dikarenakan *thrust* dihitung berdasarkan perubahan momentum dari aliran udara yang dipengaruhi perubahan kecepatan aliran udara. Pada kondisi statis, penambahan kecepatan aliran udara lebih besar dibandingkan kondisi dinamik, sehingga menghasilkan *thrust* lebih besar. Untuk ukuran mini EDF, nilai *thrust* yang dihasilkan sudah di dalam batas antara 2-17N atau biasanya sekitar 6,8N [3]. Rekomendasi daya untuk motor EDF berdiameter 70mm adalah 700-1000W. Pada gambar 4 dan gambar 3, dengan daya motor 700W mampu menghasilkan *thrust* statis sebesar 16N.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian diperoleh rancangan EDF dan performa hasil analisis. Dari hasil perancangan dihasilkan konfigurasi EDF dengan diameter inlet 70mm dan diameter outlet

60mm serta total panjang EDF adalah 116,1mm. EDF menggunakan *fan* dan motor elektrik dengan diameter maksimal masing-masing 68mm dan 35mm. Hasil analisis performa EDF menunjukkan bahwa EDF memenuhi syarat performa untuk EDF 70mm, sehingga dapat disimpulkan perancangan EDF dinyatakan berhasil dan memenuhi syarat secara performa.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto yang telah membiayai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Sharman R.A. & Cheng (2013). *Electric Ducted Fan – theory and practice*
- [2] Pereira & Chopra. (2005, January). *Effects of shroud design variables on hover performance of a shrouded-rotor for micro air vehicle applications*, AHS International Specialists' Meeting on Unmanned Rotorcraft, Chandle, AZ.
- [3] Understanding Ducted Fans
<http://www.rcflyg.se/forum/attachment.php?attachmentid=47384&d=1409248095>
Diakses 4 Juli 2015.
- [4] Basics of Electric Ducted Fans
<https://www.wattflyer.com/forums/attachment.php?attachmentid=47263&d=1195410990>
Diakses 4 Juli 2015.

