

KAJIAN PERBANDINGAN KARAKTERISTIK TURBULENSI DAN PULSASI ANTARA PROPELER CLARK-Y UNTUK PESAWAT TANPA AWAK DAN PROPELER PABRIKAN MELALUI ANALISA KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA

Andi Yongko¹, Ikhwansyah Isranuri², M. Sabri³, Syahrul Abda⁴, Marragi M.⁵, Tugiman⁶
^{1,2,3,4,5,6}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
 Jalan Almamater, Kampus USU Medan 20155 Indonesia
 E-mail: a_yongko@rocketmail.com

ABSTRAK

Propeler merupakan salah satu komponen penting pada pesawat yang berfungsi menghasilkan gaya dorong yang disebut *Thrust*. Namun dalam prakteknya, selain memberikan gaya dorong, propeler turut berperan dalam menimbulkan kebisingan ketika sedang berputar. Oleh sebab itu, tugas akhir ini memiliki tantangan untuk mencari propeler yang memiliki tingkat kebisingan yang rendah namun memiliki unjuk kerja yang tinggi melalui software analisa CFD (Komputasi Dinamika Fluida) *Solidworks*. Tugas akhir ini akan membandingkan tingkat turbulensi dan pulsasi antara propeler yang dibentuk dari airfoil CLARK – Y yang akan digunakan untuk pesawat tanpa awak, dengan propeler pabrikan. Propeler CLARK-Y yang memiliki diameter 0,46 m dengan Sound Power Level yang dihasilkan sebesar 71,4 dB dan Sound Pressure Level sebesar 43,5 dB (jarak ukur 10 m). Propeler APC dengan diameter 0,38 m menghasilkan Sound Power Level 67,99 dB dan Sound Pressure Level 40,1 dB (jarak ukur 10 m) dan propeler Master Airscrew dengan diameter 0,2 m, menghasilkan Sound Power Level sebesar 60,38 dB dan Sound Pressure Level sebesar 32,5 dB (jarak ukur 10 m). Sedangkan nilai *Thrust* yang dihasilkan berbanding terbalik dengan CLARK-Y adalah 89,5 N, APC adalah 54,7 N dan Master Airscrew adalah 14,8 N setelah mencapai kecepatan 10 m/s.

Keyword: Desain, Propeler, CLARK-Y, Kebisingan, Thrust

1. PENDAHULUAN

Propeler menjadi bagian penyumbang kebisingan terbesar dibandingkan bagian pesawat yang lain. Kebisingan ini disebabkan oleh adanya turbulensi dan pulsasi yang terjadi akibat adanya kecepatan udara yang bergerak melewati propeler. Perkembangan teknologi telah memungkinkan penganalisaan propeler yang jauh lebih mudah, cepat dan hemat biaya melalui simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh saudara Armansyah [1] adalah menganalisa kebisingan dengan perbandingan airfoil dan sudut serang propeler untuk mencapai nilai yang paling efisien.

Melalui alasan tersebut, maka penulis tertarik untuk melanjutkan penganalisaan tingkat kebisingan melalui CFD akibat dua jenis faktor yang berpengaruh, yaitu turbulensi dan pulsasi, pada sebuah propeler pesawat tanpa awak (UAV) dengan propeller pabrikan yang sama – sama menggunakan *petrol engine*.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Propulsi

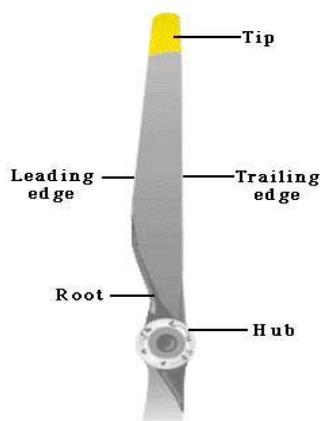
Sistem propulsi merupakan sistem penggerak dimana untuk pesawat sistem ini memberikan gaya dorongan sehingga pesawat dapat bergerak maju ke depan. Semua jenis sistem propulsi didasarkan pada hukum ketiga Newton yang berbunyi seperti berikut: “Untuk setiap aksi, terdapat reaksi berlawanan yang sesuai” [2].

2.2 Pengertian Propeller

Propeller merupakan sekelompok sayap berputar yang dibentuk bengkak, yang ditujukan agar menciptakan arah dari resultan gaya angkat yang menuju ke depan. Propeller berfungsi untuk mengubah gaya rotasi dari mesin menjadi gaya propulsif sebagai gaya dorong (Thrust) untuk pesawat [2].

2.3 Bagian – Bagian Propeler

Gambar 2.1 berikut ini akan memberikan detail bagian – bagian dari geometri propeller secara umum.



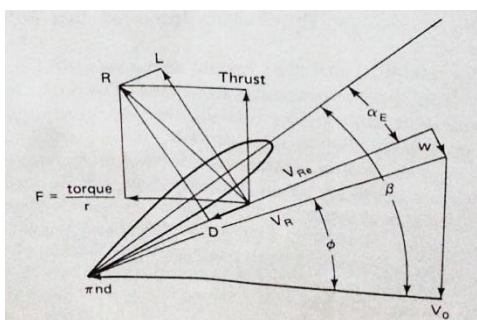
Gambar 2.1 Bagian – Bagian Propeler [1]

Berikut adalah bagian – bagian yang terdapat pada sebuah propeller:

1. Leading Edge (Bagian depan)
Merupakan bagian depan sebuah airfoil yang berfungsi untuk memotong udara. Ketika udara terbelah, maka aliran udara akan melewati permukaan yang melengkung (cambered face) dan bagian bawah yang rata (flat face).
2. Tip
Merupakan bagian terluar propeller dari Hub.
3. Root
Adalah bagian dari baling yang terdekat dengan hub.
4. Hub
Merupakan pusat propeller sebagai bagian dimana baling – baling melekat.

2.4 Dasar Elemen Propeller

Elemen – elemen penting pada sebuah propeller seperti V_o , n , d , β , w , dan L akan disajikan pada gambar 2.2 berikut ini.

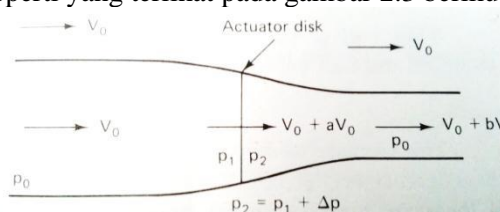


Gambar 2.2 Elemen Pada Baling – Baling Propeller [2]

Elemen n merupakan revolusi propeller per satuan detik. Elemen d adalah diameter pada stasiun airfoil. Sudut β merupakan sudut blade di stasiun airfoil. Elemen w adalah kecepatan induksi (induced velocity). V_R merupakan kecepatan resultan udara tanpa kecepatan induksi dan V_{Re} adalah kecepatan resultan efektif udara yang termasuk kecepatan induksi.

2.5 Teori Momentum Sederhana

Sebuah metode sederhana untuk menghitung propeller yang sedang beroperasi bergantung terhadap energi momentum dan kinetik dari sistem. Propeller diasumsikan terdiri dari sejumlah besar baling – baling (blade), sehingga terbentuk plat penggerak (actuator disk) dengan *thrust* terdistribusi secara merata di sekitar plat seperti yang terlihat pada gambar 2.3 berikut ini [3].

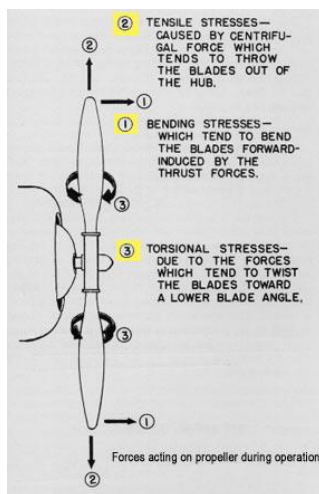


Gambar 2.3 Aliran Plat Penggerak (Actuator Disk Flow) menjadi p_o [3]

2.6 Gaya Yang Terjadi Pada Propeler

Pada umumnya terdapat tiga jenis gaya yang terjadi pada saat sebuah propeler beroperasi. Berikut adalah gaya – gaya tersebut:

1. Thrust
2. Gaya Sentrifugal (Centrifugal Force)
3. Gaya Torsi atau Twist



Gambar 2.9 Tegangan Pada Propeler [3]

2.7 Sumber Noise Aerodinamis

Sumber noise secara umum dikenal dengan istilah sebagai *Noise Generation Mechanism*, adalah mekanisme sumber kebisingan yang disebabkan oleh adanya operasi atau kegiatan serta peralatan yang menimbulkan kebisingan.

Secara umum, *Noise Generation Mechanism* terbagi menjadi tiga jenis yaitu:

- Turbulensi : Disebabkan oleh pergerakan aliran udara yang acak karena melewati perubahan bentuk suatu daerah
- Pulsasi : Merupakan tekanan bidang yang disebabkan adanya perubahan kecepatan yang signifikan sehingga mengakibatkan perubahan tekanan yang drastis, pada umumnya disebut sebagai pressure field
- Shock : Disebabkan adanya benturan secara cepat oleh aliran udara

2.8 Tingkat Kebisingan

Untuk mempermudah penentuan nilai kebisingan, maka ada metode yang digunakan dengan menggunakan skala level atau tingkat kebisingan suara dalam satuan desibel (db) yang dibagi menjadi dua kategori yakni *sound pressure level* dan *sound power level*

a. *Sound Power level*

Sound power level dapat di definisikan dalam persamaan

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_{ref}} \quad (\text{db}) \dots \dots \dots (1) \quad (2.12)$$

Dimana

W = *Sound Power*

W_{ref} = *sound power* referensi dengan standar 10^{-12} watt

b. *Sound Pressure Level (SPL)*

Sound power level untuk setiap oktav band dapat di estimasikan dengan mengikuti korelasi Graham.

$$L_w = L_w(B) + 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{Q_0} \right] + 20 \log_{10} \left[\frac{P}{P_0} \right] + B_T \dots \dots \dots (2) \quad (2.13)$$

Dimana

$L_w(B)$ = basic sound level

Q = laju aliran volumetric

Q_0 = laju aliran volumetric referensi = $0,47195 \text{ dm}^3/\text{s}$

P = tekanan melalui Propeler

P_0 = tekanan referensi = $248,8 \text{ Pa}$

B_T = Blade tone komponen

Untuk menghitung level tekanan suara tersebut dapat di peroleh dari persamaan [3]

$$L_p = L_w + (DI - 20 \log_{10} (r) + 10 \log_{10} (\epsilon^{-mr}) - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot (P_{ref}^2)}{\zeta \cdot W_{ref}} \right)) \dots \dots \dots (3) \quad (2.15)$$

Dimana

- DI = directivity index (untuk permukaan datar = 3)
- r = jarak penentuan tingkat tekanan suara
- $m = 2\psi$ dimana ψ = koefisien energi attenuation
- ζ = Karakteristik impedansi

2.9 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Dinamika fluida komputasi, biasanya disingkat sebagai CFD (Computational Fluid Dynamics), adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan dari aliran fluida tersebut.

3 METODOLOGI

3.1 Peralatan Yang Digunakan

Jenis peralatan yang dibutuhkan untuk analisis CFD propeller UAV ini adalah sebuah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Processor : Intel Core i5
- RAM : 2 GB
- CPU : 2,4 GHz
- System : Windows 7 32 – bit
- VGA : ATI Mobility Radeon
- Software : Solidworks Design and Flow simulation

3.2 Spesifikasi Data

Berikut ini merupakan spesifikasi data propeler yang akan dianalisa seperti yang disajikan pada tabel 3.1

Tabel 3.1. Spesifikasi data

No	Spesifikasi	Karakteristik
1	Structure	Aluminium Magnesium
2	Tipe	CLARK Y
3	Kecepatan Ujung Blade	204 m/s
4	Ketinggian maksimum	7.000 kaki (2133 m)
5	Mesin	DLE – 30 / 30 cc / 8500 RPM
6	Diameter sapuan	460 mm (18")
7	Material	Aluminium 2024 – 0
8	Number of blade	2
9	Chord	30 mm
10	Ukuran Propeler	18 x 10 (Diameter 18 inch dan Pitch 10 inch)

3.3 Spesifikasi Fluida

Fluida yang menjadi medium penganalisaan propeler dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Spesifikasi Fluida

No	Spesifikasi	
1	Jenis Fluida	udara atmosfer
2	Temperatur	293,2 K
3	Tekanan	101,3 kPa
4	Kelembapan	70%
5	Viskositas	18,21 x10 ⁻⁶
6	bilangan Prandtl	Pa-s 0,717
7	specific heat ratio	1,400
8	Massa jenis	1.225 kg/m ³

[5]

3.4 Spesifikasi Jenis Propeler Pabrik

1. Propeler APC

Memiliki spesifikasi berupa :

Diameter =380 mm

Chord	= 30 mm
Material	= Fiber Glass
Angle of Attack	= 9,5 ⁰ [6]

2. Propeler Master Airscrew

Memiliki spesifikasi berupa :

Diameter	= 200 mm
Chord	= 15 mm
Material	= Nylon 101
Angle of Attack	= 7 ⁰ [6]

3.5 Spesifikasi Mesin Gasoline

Adapun dalam analisa propeler ini, tenaga input diperoleh dari mesin gasoline bertipe DLE – 30. Berikut adalah spesifikasi data yang dimiliki mesin ini:

- 3,7 hp / 30 CC
- 8500 rpm
- Idle @ 1600 rpm [7]

3.6 Tahap Pengujian Propeler

1. Input koordinat Airfoil Clark Y
2. Penginputan sudut serang airfoil
3. Pemodelan propeler
4. Pembentukan daerah putaran (Rotating Region)
5. Penentuan jenis aliran fluida
6. Penginputan Parameter Kecepatan Aliran
7. Pembentukan Daerah Perhitungan (Computational Domain)
8. Pelaksanaan Simulasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Verifikasi Teoritis

Pada pengujian teoritis ini, akan dilakukan perhitungan terhadap kecepatan putar maksimum yang terjadi pada ujung propeler, dengan menggunakan rumus berikut.

$$V_r \left(\frac{ft}{s} \right) = \frac{N \text{ (rpm)} \times D \text{ (in)} \times 3,14}{(12 \times 60)}$$

Diketahui :

- N = 8500 rpm
- D_{Clark-Y} = 0,46 m ~18,11 in
- D_{APC} = 0,38 m ~ 14,96 in
- D_{Clark-Y} = 0,20 m ~ 8,66 in

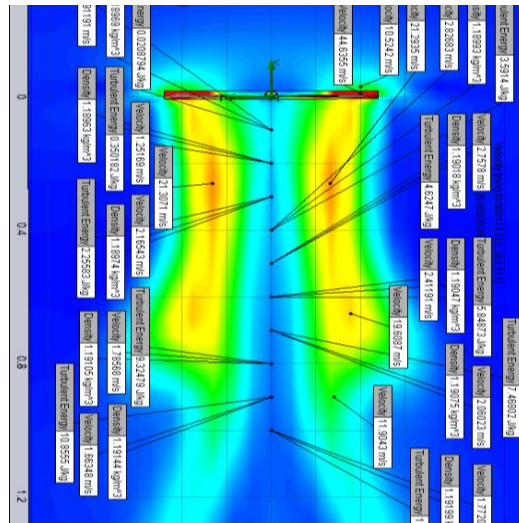
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Teoritis Dan Hasil Simulasi

PROPELER	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Ralat (%)
CLARK-Y	204,62 m/s	202,7 m/s	0,938
APC	169,03 m/s	166,2 m/s	1,67
Master Airscrew	88,96 m/s	87,55 m/s	1,58

Dari tabel 4.1 di atas dapat dilihat bahwa antara hasil perhitungan dan hasil simulasi tidak berbeda jauh dengan persen ralat di bawah 2%. Oleh karena hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda, maka penelitian simulasi dapat dinyatakan benar dan dapat dilanjutkan.

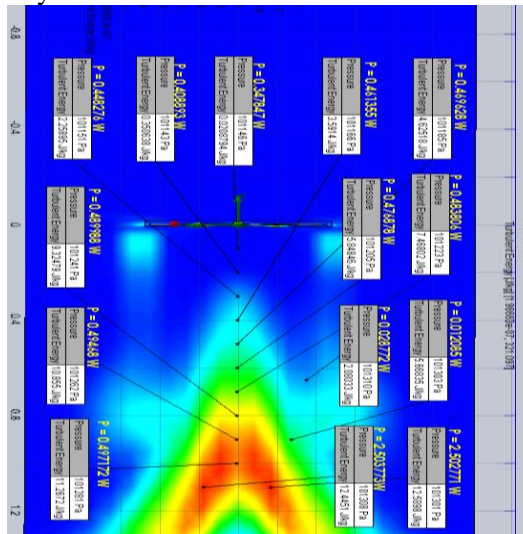
4.2 Propeler CLARK-Y

Analisa propeler CLARK-Y ini akan menampilkan beberapa hasil simulasi yaitu kontur kecepatan, kontur tekanan, kontur turbulensi dan data – data simulasi lainnya seperti yang terlampir pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini.



Gambar 4.1 Kontur Kecepatan Udara Propeler CLARK –Y

Kecepatan maksimum yang terjadi setelah udara melewati propeler adalah $21,3071 \text{ m/s}$, yaitu pada koordinat $x = 0.26 \text{ m}$ dan $y = -0.132 \text{ m}$.



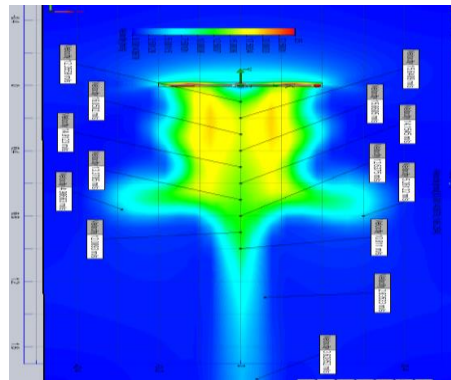
Gambar 4.2 Kontur Energi Turbulensi Propeler CLARK-Y

Turbulensi terjadi pada daerah yang berjarak 0,3 m dari propeler dengan karakteristik yang terbelah dan mencapai nilai maksimum sekitar 12 J/kg pada jarak $x = 1,1 \text{ m}$ dan $y = 0,088 \text{ m}$.

Turbulensi pada CLARK-Y menghasilkan intensitas sekitar $0,4 \text{ W}$ hingga $0,53 \text{ W}$ pada daerah pertengahan dan pada titik turbulensi maksimum juga menghasilkan intensitas maksimum yaitu $2,77 \text{ W}$.

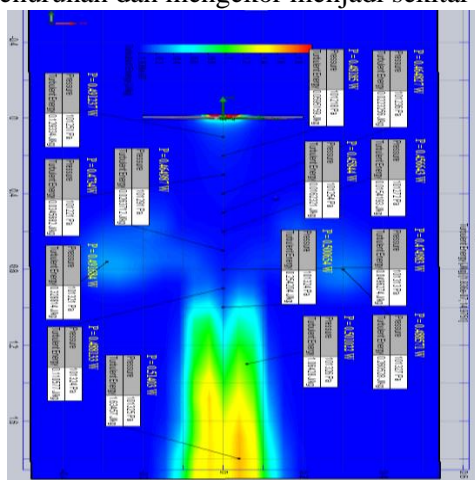
4.3 Propeler APC

Gambar 4.3 berikut ini adalah hasil aliran kecepatan udara yang melewati propeler APC.



Gambar 4.3 Kontur Kecepatan Aliran Udara Propeler APC

Kecepatan udara pada saat akan meninggalkan pusat propeler sangatlah rendah yaitu sekitar $2,9 \text{ m/s}$. Kemudian terjadi peningkatan kecepatan di daerah $0,3\text{m}$ dari propeler menjadi 15 m/s . Kecepatan udara mengalami penurunan dan mengekor menjadi sekitar 10 m/s .

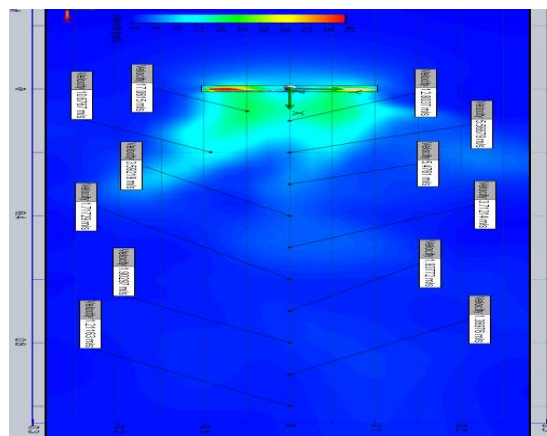


Gambar 4.4 Kontur Energi Turbulensi Propeler APC

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa daerah yang berlokasi pada titik $x = 1,8 \text{ m}$ dan $y = 0,04 \text{ m}$, terjadi energi turbulensi maksimum yaitu sekitar $1,63 \text{ J/kg}$ dengan intensitas $0,514 \text{ W}$.

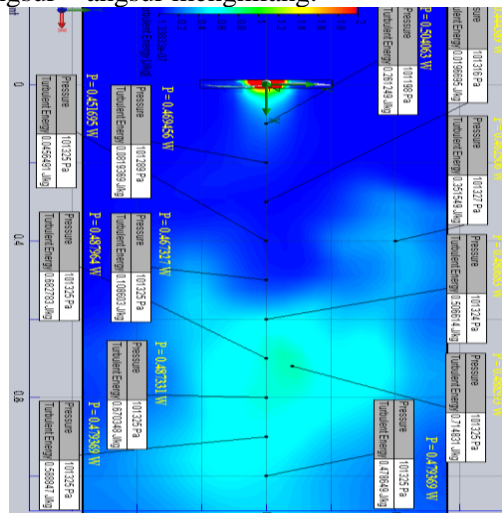
4.4 Propeler Master Aircsrew

Gambar 4.5 berikut ini adalah hasil dari analisa kecepatan yang dilakukan pada propeler Master Aircsrew



Gambar 4.5 Kontur Kecepatan Udara Propeler Master Airscrew

Kecepatan udara yang dihasilkan setelah melalui propeler adalah sebesar 16 m/s hingga 17 m/s. Namun kecepatan udara ini cenderung tidak bertahan lama dan turun menjadi 10 m/s pada jarak 0.2 m dari propeler dan berangsur – angsur menghilang.



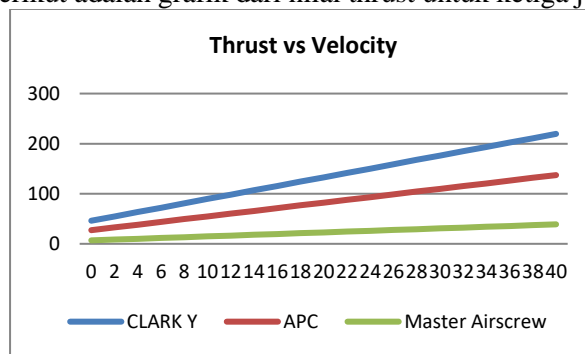
Gambar 4.6 Kontur Energi Turbulensi Propeler Master Airscrew

Pada gambar 4.6 di atas, intensitas tertinggi pada propeler ini terdapat pada daerah 0,1 m dari propeler yaitu sebesar 0,5 W.

4.5 Analisa Gaya Dorong Propeler (Thrust)

Ketiga jenis propeler ini akan dihitung berdasarkan gaya dorong (Thrust) yang dapat dihasilkan sebagai perbandingan unjuk kerja yang diperoleh tiap – tiap propeler.

Gambar 4.7 berikut adalah grafik dari nilai thrust untuk ketiga jenis propeler ini.



Gambar 4.7 Grafik Nilai Thrust Propeler

Dari gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa propeler memiliki unjuk kerja yang paling tinggi dimana pada kecepatan 40 m/s nilai thrust yang diperoleh propeler CLARK-Y adalah 179,5 N. Untuk propeler APC adalah 137 N dan yang paling rendah adalah Master Airscrew dengan nilai 38,9 N. Dari sisi segi unjuk kerja, maka disimpulkan bahwa propeler CLARK-Y memiliki kemampuan thrust tertinggi.

4.6 Analisa Kebisingan Pada Propeler

Perhitungan nilai tingkat daya suara ini dilakukan berdasarkan persamaan

$$L_w = L_w(B) + 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{Q_{ref}} \right] + 20 \log_{10} \left[\frac{P}{P_0} \right] + B_T$$

Dimana $Q = V \times A$

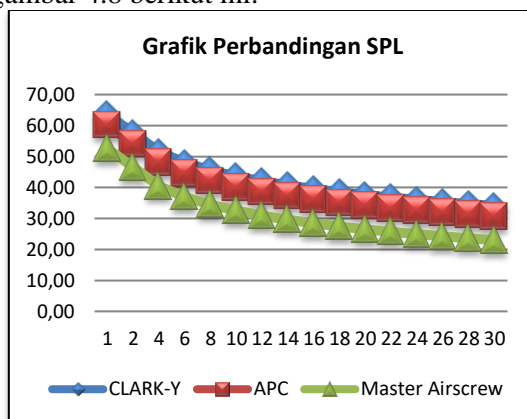
Tabel 4.2 Sound Power Level Hasil Pengujian

Jenis Propeler	Sound Power Level (dB)
CLARK-Y	71,4
APC	67,99
Master Airscrew	60,38

Tabel 4.2 di atas merupakan hasil sound power yang diperoleh untuk ketiga jenis propeler. Sementara nilai tingkat tekanan suara propeler CLARK-Y yang diukur pada jarak $r = 10\text{ m}$ dengan $DI = 3$ dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$L_p = L_w + (DI - 20 \log_{10}(r)) + 10 \log_{10}(\epsilon^{-mr}) - 10 \log_{10}\left(\frac{4\pi \cdot (P_{ref}^2)}{\zeta \times W_{ref}}\right)$$

Dari keseluruhan data hasil analisa yang di tampilkan dalam bentuk tabulasi, masing masing dibandingkan pada tampilan gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Perbandingan SPL Antar Propeler

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Dari ketiga kandidat propeler yang diuji, propeler yang memiliki tingkat kebisingan terendah adalah propeler Master Airscrew. Namun untuk nilai *Thrust* tertinggi didapat pada propeler CLARK – Y dan tetap memenuhi kualifikasi dengan kebisingan di bawah 70 dB sebagai batas kewajaran kebisingan.
- Hasil berupa kecepatan yang ditambah dari kecepatan 0 m/s pada daerah keluaran sebagai berikut ini:
 - Untuk propeler CLARK-Y diperoleh $v = 21,3\text{ m/s}$
 - Untuk propeler APC diperoleh $v = 19,8\text{ m/s}$.
 - Untuk propeler Master Airscrew diperoleh $v = 17,2\text{ m/s}$.
- Disimpulkan bahwa ukuran panjang propeler berpengaruh terhadap tingkat tekanan suara yang diukur pada jarak 10 m.
 - Untuk propeler CLARK-Y yang memiliki diameter 460 mm menghasilkan tingkat tekanan suara sebesar 43,5 dB
 - Sedangkan untuk propeler APC yang memiliki diameter 380 mm menghasilkan tingkat tekanan suara sebesar 40,1 dB
 - Dan untuk propeler Master Airscrew yang memiliki diameter 220 mm menghasilkan tingkat tekanan suara sebesar 32,5 dB

5.2 Saran

- Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya dilakukan dengan memperluas input putaran yang akan diuji.

2. Perbandingan (*compare*) terhadap propeler pabrikan lainnya dapat menjadi diperluas untuk mencari karakteristik propeler yang lebih rendah bising.
3. Penelitian terhadap desain propeler rendah bising ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam penelitian penelitian sehubungan dengan konsep *low noise design* selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutapea, Paido H., 2007, Studi Intensitas Kebisingan Pesawat, Jakarta : Erlangga
- [2] Shevell, Richard S., 1983, *Fundamental of Flight*, United States of America : Prentice Hall, Inc
- [3] Kroes, Michael J., 1994, *Aircraft Powerplants, Seventh Edition*, Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- [4] Graham, J.B., 1991, *C.M. Handbook of acoustical measurements and noise control, Chapter 41*, United States of America : McGraw-Hill Book Co.
- [5] Huang, Paul X., 2012, *Gas Pulsations : A Shock Tube Mechanism*, USA : Purdue University
- [6] Lin, Cheah A., 2011, *Aerodynamics of an Unmanned Aerial Vehicle*, Singapore : John Wiley and Sons, Inc.
- [7] Bies, D.A. and Hansen, C.H., 1996, *Engineering Noise Control: Theory and Practice*, London : E&FN Spon