

STUDI KARAKTERISTIK PROPELER BERBASIS SINTESA GEOMETRI KEMBANG POHON MAHONI

STUDY CHARACTERISTICS OF PROPELLER BASED ON GEOMETRY OF MAHOGANY FLOWER

Apriliansi Putri Prasetyo¹, Reza Fauzi Iskandar², Liman Hartawan³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹aprilianiputrip@gmail.com, ²rezafauzii@gmail.com, ³liman.jobs@gmail.com

Abstrak

Pohon Mahoni merupakan tanaman yang banyak ditemukan di daerah tropis salah satunya Indonesia. Pohon ini memiliki nilai ekonomis yang tinggi, hampir seluruh bagian dari Pohon Mahoni dapat dimanfaatkan, mulai dari kayu hingga bijinya. Selama ini pemanfaatan Pohon Mahoni terbatas hanya kayunya sebagai bahan baku furniture dan bijinya dimanfaatkan dibidang kesehatan sebagai obat alternatif menurunkan kolesterol karena kandungan flavonoid di dalamnya. Pada penelitian tugas akhir ini penulis memanfaatkan kembang Pohon Mahoni dari segi geometri dan topologi untuk disintesa dan dibuat menjadi sebuah propeler. Alasan dilakukannya penelitian ini adalah karena kembang Mahoni memiliki geometri yang hampir serupa dengan *blade* pada propeler. Selain itu, ketika sebuah kembang Mahoni dilemparkan secara vertikal ke atas maka kembang Mahoni ini akan turun kembali dengan gerakan berputar seperti putaran sebuah propeler. Dengan memanfaatkan teknik desain dan cetak 3 dimensi diharapkan dapat membantu terbentuknya produk propeler baru dengan desain yang serupa dengan geometri dan topologi kembang Mahoni. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkannya jumlah putaran paling besar adalah senilai 1641,5 RPM yang dihasilkan dari propeler dengan 8 *blade* pada sampel 1 dengan lebar bilah 0,021 m dan diameter propeler sebesar 0,188 m. Sementara itu nilai koefisien daya paling besar dihasilkan oleh propeler pada sampel 5 dengan 8 *blade* sebesar 0,56066 dengan lebar bilah sebesar 0,026 m dan diameter propeler sebesar 0,183 m. Sedangkan nilai *local velocity* paling besar dihasilkan oleh propeler pada sampel 4 dengan 2 *blade* sebesar 0,53741 yang memiliki lebar bilah sebesar 0,022 m dan diameter propeler sebesar 0,187 m.

Kata Kunci: Kembang Pohon Mahoni, Propeler, Desain 3D, Cetak 3D, Modeling

Abstract

Mahogany tree is a plant frequently found in tropical areas, one of which is Indonesia. The tree has high economical value, almost all of Mahogany's parts can be utilized, from its wood to its seed. Up until now, the use of Mahogany tree is limited to its wood as raw materials and the use of its seed as an alternative medicine to reduce cholesterol level due to its flavonoid content. In the research of this final assignment, the author utilizes the Mahogany Tree flower in terms of geometry and topology to be synthesized and produced into a propeller. The reason behind this research is because Mahogany flower has a geometry that is almost similar to a blade on a propeller. Moreover, when a Mahogany flower is thrown vertically upwards, the Mahogany flower will come back down in a circular motion like a propeller's rotation. By taking advantage from 3-dimensional design and printing techniques, it is expected to help the creation of new propeller products with designs similar to geometry and topology that of Mahogany flowers. The results of this study show the largest number of rotations are 1641.5 RPM which was produced from a propeller with 8 blades on sample 1 with blade width of 0.021 m and propeller diameter of 0.188 m. Meanwhile the highest power coefficient value is generated by propeller on sample 5 with 8 blades, which is 0.56066 with blade width of 0.026 m and propeller diameter of 0.183 m. While the greatest local velocity value is generated by the propeller on sample 4 with 2 blades, which is 0.53741 with a blade width of 0.022 m and a propeller diameter of 0.187 m.

Keywords: Mahogany Flower, Propeller, 3-Dimension Design, 3-Dimension Printing

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya penduduk, pertumbuhan ekonomi, serta pola konsumsi maka kebutuhan energi di duniapun terus mengalami peningkatan khususnya jenis bahan bakar fosil (BBM). Energi jenis BBM ini bukan hanya digunakan oleh kendaraan bermotor saja melainkan juga sebagai bahan bakar mesin pembangkit listrik untuk mencukupi kebutuhan energi listrik di Indonesia. Pada tahun 2005 melalui Blueprint Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) menyampaikan bahwa cadangan minyak bumi di Indonesia pada 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun

dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut, sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun [1]. Tingginya kebutuhan migas tidak diimbangi dengan kapasitas produksinya yang membutuhkan waktu sangat lama hingga berjuta tahun untuk jenis bahan bakar fosil. Hal ini mengakibatkan banyak negara di seluruh dunia termasuk Indonesia berpacu membangkitkan energi dari sumber energi terbarukan, salah satunya angin.

Angin merupakan salah satu energi terbarukan yang bisa digunakan dalam skala kecil [2]. Energi angin dapat dikonversi ke dalam bentuk lain yaitu energi listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Salah satu komponen utama turbin angin adalah rotor atau propeler yang menangkap energi mekanik angin kemudian diubah menjadi energi kinetik putar[3]. Tidak semua daya angin dikonversi menjadi energi mekanik oleh propeler pada turbin, daya maksimum yang dapat diperoleh dari angin adalah sekitar 60% [3]. Nilai tersebut dapat diperoleh jika sebuah propeler pada turbin memenuhi syarat yang dijelaskan oleh Betz pada teori Momentum Betz [4]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi dari propeler dengan mengadopsi bentuk dari alam yaitu kembang Mahoni.

Pohon Mahoni merupakan salah satu tanaman berkayu besar yang mudah ditemukan di daerah tropis atau dalam hal ini Indonesia. Pohon Mahoni menyebarkan benih dengan bantuan dari pergerakan *blade* alami yang dimiliki pada kembangnya. Secara kasat mata dapat diketahui bahwa kembang dari pohon Mahoni ini memiliki geometri yang menyerupai *blade* sebuah propeler dengan ukuran yang beragam.

Pada kesempatan ini, penulis ingin memanfaatkan geometri dan topologi dari kembang Mahoni sebagai inspirasi desain propeler. Kemudian selanjutnya propeler diuji dengan *wind tunnel* berskala laboratorium yang dimiliki oleh Universitas Telkom. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jumlah *blade* propeler dan kecepatan angin pada *wind tunnel*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak dari tekanan lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah, dimana perbedaan tekanan ini disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari [5]. Akibat dari pergerakan partikel-partikel udara ini maka angin memiliki energi yang dapat dikonversi atau ditransmisikan menjadi bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, turbin angin disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

2.1.1 Energi Kinetik Angin

Bersesuaian dengan energi kinetik menurut ilmu fisika klasik, energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$E = \frac{1}{2}m.v^2 \quad (2.1)$$

Dengan :

E = energi (joule)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

Suatu blok udara melewati yang memiliki penampang A m² dan bergerak dengan kecepatan v m/s, maka jumlah massa yang udaranya adalah :

$$\dot{m} = \rho Av \quad (2.2)$$

Dengan :

\dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

A = luas penampang melintang aliran (m²)

ρ = massa jenis angin (kg/m³)

Daya total aliran angin adalah sama dengan laju energi kinetik aliran yang datang [6], maka :

$$W_{tot} = \dot{m} \cdot \frac{v^2}{2gc} \quad (2.3)$$

Dengan :

W_{tot} = Daya total (watt)

gc = faktor koreksi = 1

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2, maka nilai daya total menjadi :

$$W_{tot} = \frac{1}{2gc} \rho Av^3 \quad (2.4)$$

Daya per luas, sebagai potensi daya angin atau kerapatan daya angin (*wind power density*), yaitu :

$$\frac{W_{tot}}{A} = \frac{1}{2gc} \rho v^3 \quad (2.5)$$

Energi kinetik yang dimiliki angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Besarnya energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin dapat dianalisis menggunakan teori Momentum Elementer Betz.

2.1.2 Daya Angin

Daya merupakan energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti pada persamaan berikut :

$$\tau = I \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.15)$$

dimana I merupakan momen inersia yang dibutuhkan oleh komponen yang berputar yaitu propeler terhadap sumbu putarnya. Untuk mendapatkan nilai momen inersia rotasional ini digunakan persamaan berikut ini [11]:

$$I = \frac{1}{2}m((D.n)^2 + w^2) \quad (2.16)$$

Keterangan :

P_t = Daya propeler (Watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

I = Momen inersia (kg.m^2)

t = Selang waktu (s)

V = Kecepatan angin (m/s)

m = Massa propeler (kg)

D = Diameter propeler (m)

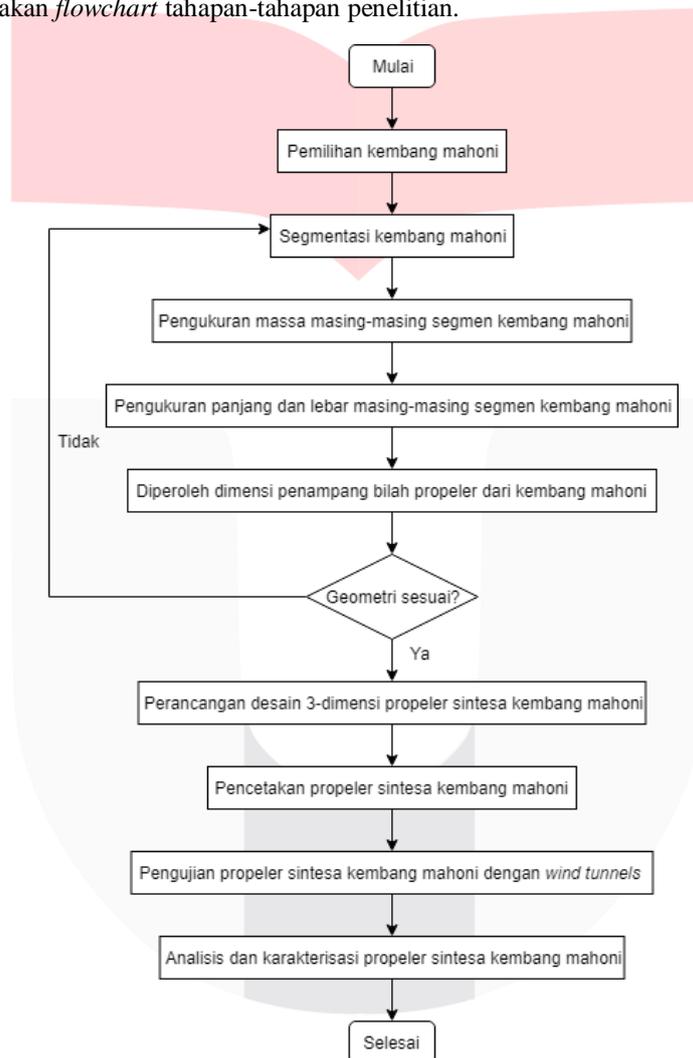
n = Jumlah *blade*

w = Lebar *blade* (m)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

2.1 Rancangan Sistem

Berikut ini merupakan *flowchart* tahapan-tahapan penelitian.



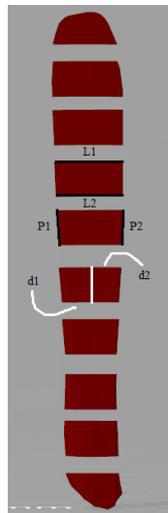
Rancangan sintesa kembang Mahoni yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan geometri dan topologi dari kembang Mahoni. Geometri dan topologi dari kembang Mahoni kemudian dibuat desain 3 dimensinya terlebih dahulu dengan *software* 3Ds Max berdasarkan data dari segmentasi sampel kembang Mahoni kemudian selanjutnya desain dicetak menggunakan metode *3D printing* dengan bahan PLA. Penggunaan bahan PLA dengan alasan bahan ini yang paling mampu mereduksi massa paling besar dibanding bahan cetak 3 dimensi lainnya. Penelitian ini menggunakan lima sampel geometri kembang Mahoni yang berbeda agar kemudian dapat dipelajari karakterisasi koefisien dayanya dan *local velocity* dari propeler sintesa kembang Mahoni.

3. Hasil Pengujian dan Analisis

3.1. Data Hasil Pengujian Jumlah Putaran Propeler

Sebelum masuk pada tahap pengujian, terlebih dahulu dilakukan proses segmentasi dari sampel kembang Mahoni yang digunakan guna mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan untuk proses desain 3 dimensi. Berikut merupakan data segmentasi dari kembang Mahoni untuk sampel yang pertama :

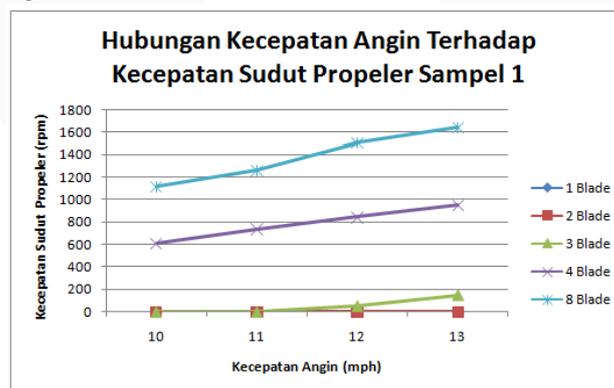
Tabel 1. Data Segmentasi Kembang Mahoni Sampel Pertama



No	Lebar (cm)		Panjang (cm)		Massa (g)	Ketebalan (mm)	
	L1	L2	P1	P2		d1 (ujung tipis)	d2 (ujung tebal)
1	2,20	1,95	0,90	1,10	0,018	0,15	0,86
2	2,14	2,25	1,10	1,00	0,009	0,14	0,92
3	2,30	2,40	0,95	0,95	0,007	0,15	1,06
4	2,15	2,35	0,90	0,95	0,009	0,21	1,25
5	1,95	2,20	0,95	1,10	0,014	0,23	1,74
6	1,85	1,95	1,00	0,95	0,008	0,41	1,85
7	2,00	1,75	0,80	0,95	0,013	1,94	3,13
8	2,05	2,05	1,00	0,95	0,139	2,70	4,26
9	2,05	1,95	0,90	0,80	0,210	1,79	3,61
10	1,95	1,95	0,60	0,80	0,076	3,14	3,68
Total			9,10	9,55	0,503		

Gambar 1. Segmentasi Kembang Mahoni Sampel Pertama

Setelah melakukan segmentasi pada sampel kembang mahoni, tahap berikutnya adalah melakukan desain 3 dimensi dengan menggunakan *software 3DS Max*. Selanjutnya desain 3 dimensi yang sudah sesuai dengan sampel kembang mahoni akan memasuki proses pencetakan dengan metode *3D printing*. Dimana pada pencetakan ini bahan yang digunakan adalah bahan plastik *PolyLactic Acid (PLA)* karena hasil cetakan dengan bahan ini memiliki massa paling ringan jika dibandingkan dengan bahan lainnya seperti bahan plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*. Desain yang sudah dicetak kemudian memasuki tahap pengujian dengan *wind tunnel*. Pengujian ini dilakukan dengan kecepatan aliran udara pada *wind tunnel* yang divariasikan. Nilai kecepatan aliran udara yang digunakan adalah 10 mph, 11 mph, 12 mph, dan 13 mph. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan kecepatan angin pada *wind tunnel* terhadap putaran propeler. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



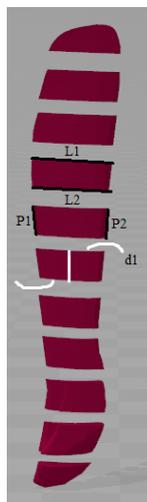
Gambar 2. Grafik Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Kecepatan Sudut Propeler Sampel Pertama

Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin banyak dan semakin besar kecepatan angin pada *wind tunnel* maka semakin banyak pula rotasi yang dihasilkan oleh propeler. Dimana pada penelitian ini jumlah rotasi paling besar adalah 1641,50 RPM yang dihasilkan oleh propeler 8 bilah dengan desain dari sampel yang pertama pada kecepatan angin *wind tunnel* adalah sebesar 13 mph. Propeler ini memiliki lebar bilah sebesar 0,021 m dan diameter propeler sebesar 0,188 m. Propeler pada sampel pertama ini memiliki lebar bilah paling kecil jika dibandingkan dengan propeler pada sampel lainnya.

3.2. Data Hasil Pengujian Koefisien Daya Propeler

Parameter lain yang ingin diketahui nilai dan karakteristiknya adalah koefisien daya dari propeler. Berikut ini merupakan data segmentasi dari sampel kembang Mahoni yang kelima, dimana propeler dengan desain dari sampel ini memiliki nilai koefisien daya paling besar :

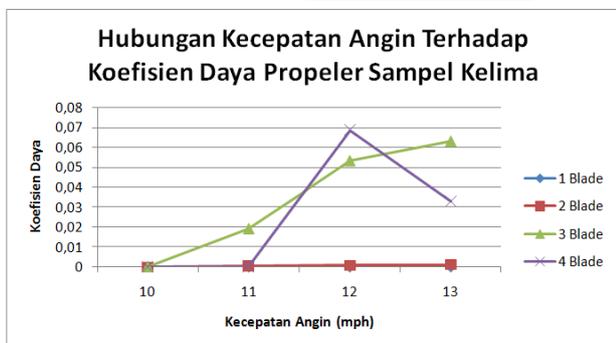
Tabel 2. Data Segmentasi Kembang Mahoni Sampel Kelima



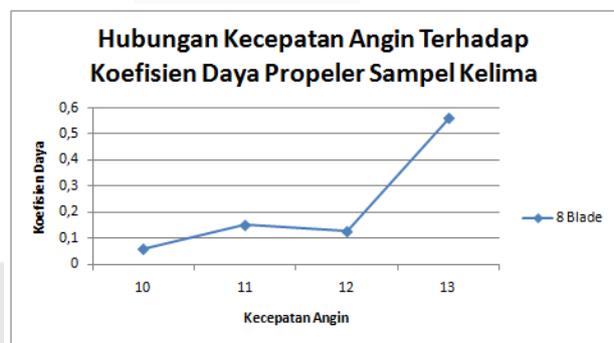
No	Lebar (cm)		Panjang (cm)		Massa (g)	Ketebalan (mm)	
	L1	L2	P1	P2		d1 (ujung tipis)	d2 (ujung tebal)
1	2,40	2,05	1,00	1,10	0,009	0,15	1,39
2	2,50	2,40	1,15	1,05	0,011	0,12	0,77
3	2,50	2,45	1,20	1,10	0,013	0,10	1,46
4	2,45	2,50	1,00	1,05	0,010	0,10	1,15
5	2,20	2,45	1,00	1,05	0,014	0,27	1,80
6	2,20	2,05	1,05	1,00	0,014	0,31	2,17
7	2,05	1,95	1,05	1,00	0,018	1,48	2,25
8	1,90	1,90	1,10	0,85	0,146	1,96	5,61
9	1,80	1,95	1,00	1,15	0,244	1,86	3,47
10	1,80	1,20	0,90	1,10	0,170	5,59	6,30
11	1,25	1,25	0,50	0,50	0,010	3,46	3,46
Total			10,95	10,95	0,659		

Gambar 3. Segmentasi Kembang Mahoni Sampel Kelima

Setelah melakukan segmentasi pada sampel kembang mahoni, tahap berikutnya adalah melakukan desain 3 dimensi dengan menggunakan *software 3DS Max*. Selanjutnya desain 3 dimensi yang sudah sesuai dengan sampel kembang mahoni akan memasuki proses pencetakan dengan metode *3D printing* dengan bahan plastik *PolyLactic Acid (PLA)*. Desain yang sudah dicetak kemudian memasuki tahap pengujian dengan *wind tunnel*. Pengujian ini dilakukan dengan kecepatan aliran udara pada *wind tunnel* yang divariasikan. Nilai kecepatan aliran udara yang digunakan adalah 10 mph, 11 mph, 12 mph, dan 13 mph. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan kecepatan angin pada *wind tunnel* terhadap koefisien daya propeler. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 4. Grafik Hubungan kecepatan Angin Terhadap Koefisien Daya Propeler Sampel Kelima Untuk 1-4 Blade

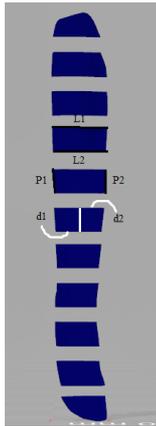


Gambar 5. Grafik Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Koefisien Daya Propeler Sampel Kelima Untuk 8 Blade

Dari gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa nilai koefisien daya dari propeler sebanding dengan besarnya kecepatan angin yang mengenai muka bilah propeler. Semakin besar kecepatan angin dari *wind tunnel* maka makin besar pula nilai koefisien daya propelernya. Pada penelitian ini, nilai koefisien daya paling besar adalah 0,56066 dihasilkan dari propeler 8 bilah pada kecepatan angin *wind tunnel* adalah 13 mph dengan desain propeler dari sampel kelima yang memiliki lebar bilah sebesar 0,026 m dan diameter sebesar 0,183 m.

3.3. Data Hasil Pengujian Local Velocity Propeler

Parameter terakhir yang ingin diketahui karakteristiknya adalah nilai *local velocity* dari propeler yang diuji dengan *wind tunnel*. Sebelum memasuki tahap pengujian, sampel kembang Mahoni terlebih dahulu disegmentasi agar didapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan dalam desain 3 dimensi. Berikut ini merupakan data segmentasi dari kembang Mahoni sampel keempat :

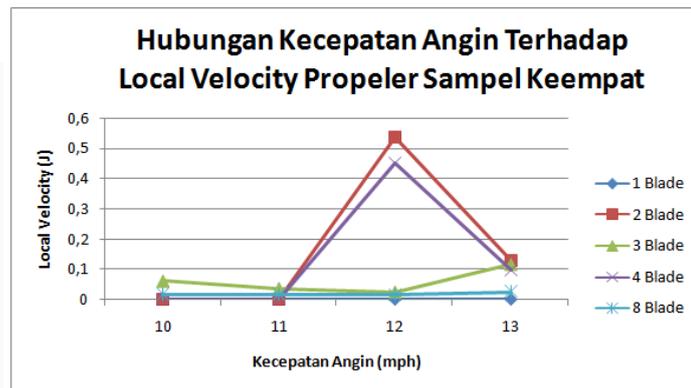


Gambar 6. Segmentasi Kembang Mahoni Sampel Keempat

Tabel 3. Data Segmentasi Kembang Mahoni Sampel Keempat

No	Lebar (cm)		Panjang (cm)		Massa (g)	Ketebalan (mm)	
	L1	L2	P1	P2		d1 (ujung tipis)	d2 (ujung tebal)
1	2,40	2,05	1,20	1,05	0,021	0,15	1,37
2	2,65	2,50	1,15	1,15	0,018	0,12	1,43
3	2,55	2,50	1,00	1,00	0,022	0,10	1,13
4	2,40	2,50	1,00	1,10	0,014	0,16	1,61
5	2,00	2,20	1,05	1,10	0,014	0,24	2,18
6	1,70	1,45	1,00	1,10	0,011	0,79	3,00
7	2,00	1,90	1,00	1,10	0,078	1,14	5,54
8	1,75	1,90	0,85	0,75	0,168	4,96	7,15
9	1,90	1,90	1,00	0,90	0,175	5,10	6,23
10	1,20	1,00	0,60	0,50	0,052	4,53	4,64
Total			9,85	9,75	0,573		

Setelah melakukan segmentasi pada sampel kembang mahoni, tahap berikutnya adalah melakukan desain 3 dimensi dengan menggunakan *software 3DS Max*. Selanjutnya desain 3 dimensi yang sudah sesuai dengan sampel kembang mahoni akan memasuki proses pencetakan dengan metode *3D printing* dengan bahan plastik *PolyLactic Acid (PLA)*. Desain yang sudah dicetak kemudian memasuki tahap pengujian dengan *wind tunnel*. Pengujian ini dilakukan dengan kecepatan aliran udara pada *wind tunnel* yang divariasikan. Nilai kecepatan aliran udara yang digunakan adalah 10 mph, 11 mph, 12 mph, dan 13 mph. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan kecepatan angin pada *wind tunnel* terhadap koefisien daya propeler. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Local Velocity Propeler Sampel Keempat

Berdasarkan gambar 7 di atas, dapat diketahui bahwa nilai *local velocity* propeler cenderung mengalami peningkatan, hingga akhirnya pada kecepatan angin tertentu akan mengalami penurunan. Pada penelitian ini, nilai *local velocity* paling besar adalah 0,53741 dihasilkan oleh propeler dengan 2 bilah pada kecepatan angin *wind tunnel* adalah 12 mph. Dimana lebar bilah propeler ini adalah sebesar 0,022 m dengan diameter 0,187 m.

3.4 Perbandingan Nilai Cp Uji Propeler dan Momentum Betz

Berdasarkan hasil pengujian propeler yang telah dibahas sebelumnya, didapatkan nilai maksimum koefisien daya yang dapat dihasilkan adalah sebesar 0,56066 yang dihasilkan oleh propeler 8 *blade* dengan desain dari sampel kelima. Nilai ini berada di bawah nilai efisiensi teoritis sebuah propeler. Berdasarkan nilai yang ditemukan oleh Betz, turbin angin dapat mengkonversikan tidak lebih dari 60% energi total angin menjadi energi lainnya atau tepatnya sebesar 0,59259. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh dari rancangan bilah dari propeler yang diuji, dimana untuk mencapai nilai maksimum koefisien daya menurut Betz maka bilah turbin harus dirancang dengan sangat baik serta dengan kecepatan putar propeler pada puncak bilah adalah sebesar 6 kali kecepatan angin.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian tugas akhir ini, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Geometri dan topologi dari kembang Pohon Mahoni dapat dijadikan sebagai model desain propeler.
2. Banyaknya rotasi pada propeler dipengaruhi oleh jumlah blade dan geometri dari blade pada propeler, di mana semakin banyak jumlah blade pada propeler maka akan semakin banyak putaran yang dihasilkan.

3. Banyaknya rotasi dari propeler sebanding dengan kecepatan angin yang mengenai muka bilah propeler itu sendiri. Pada penelitian ini nilai rotasi yang paling banyak dihasilkan dari propeler dengan 8 *blade* pada sampel pertama yang memiliki lebar bilah paling kecil yaitu 0,021 m dan diameter propeler sebesar 0,188 m dengan jumlah rotasi sebesar 1641,50 RPM.
4. Besarnya nilai koefisien daya dari propeler sebanding dengan besarnya kecepatan angin yang mengenai muka bilah dari propeler, pada penelitian ini nilai koefisien daya paling besar adalah 0,56066 yang dihasilkan oleh propeler pada sampel kelima dengan 8 *blade* yang memiliki lebar bilah sebesar 0,026 m dan diameter propeler sebesar 0,183 m.
5. Besarnya nilai *local velocity* dari propeler akan mengalami peningkatan hingga pada kecepatan angin tertentu mencapai nilai maksimumnya dan kemudian mengalami penurunan, pada penelitian ini nilai *local velocity* yang paling besar adalah sebesar 0,53741 yang dihasilkan oleh propeler pada sampel keempat dengan 2 *blade* yang memiliki lebar bilah sebesar 0,022 m dan diameter propeler sebesar 0,187 m.

4.2 Saran

Dalam penelitian tugas akhir ini tentunya masih terdapat kekurangan baik dari proses segmentasi kembang Mahoni hingga proses pengujian dengan *wind tunnel*. Saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan metode *3D scanning* dalam proses desain, sehingga hasil desainnya lebih presisi baik geometri dan topologinya.
2. Menggunakan bahan cetak 3D yang lebih ringan dari bahan PLA, sehingga massanya lebih mendekati massa kembang Mahoni yang asli.
3. Menggunakan sensor dan *data logger* dalam pengujian propeler dengan *wind tunnel*, sehingga data yang didapat lebih akurat dan mengurangi turbulen akibat alat ukur lainnya.

5. Daftar Pustaka

- [1] Ikhsan, I., & Hipi, M. A. (2011). Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller Pada Wind Tunnel Sederhana. *Tugas Akhir*, 1.
- [2] Aryanto, F., Mara, I. M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *ISSN: 2088-088X*, 2.
- [3] Rukmana, B., Satoto, S. W., & Rossbandrio, W. (t.thn.). Pengaruh Variasi Pembebanan Pada Poros Utama Turbin Angin Terhadap Putaran, Daya Listrik, dan Kinerja Turbin Angin Golden Blade. 2.
- [4] Aryanto, F., Mara, I. M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *ISSN: 2088-088X*, 3.
- [5] Ikhsan, I., & Hipi, M. A. (2011). Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller pada Wind Tunnel Sederhana. 6.
- [6] Djati, N., & Pudjanarsa, A. (2008). *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [7] Aryanto, F., Mara, I. M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *ISSN: 2088-088X*, 4.
- [8] Aryanto, F., Mara, I. M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *ISSN: 2088-088X*, 5.
- [9] Daryanto, Y. (2007). *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta: BALAI PPTAGG-UPT-LAGG.
- [10] Ikhsan, I., & Hipi, M. A. (2011). Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeler Pada Wind Tunnel Sederhana. 22.
- [11] Randis, & Rahmawati, P. (t.thn.). Analisis Momen Inersia Body dan Rotasional Pada Quadcopter. *Jurnal Teknologi Terpadu No. 2 Vol. 4*, 6.
- [12] Id. Wikipedia.org(2016). *Wind Tunnel*. Diperoleh 20 November 2017, dari https://id.wikipedia.org/wiki/Wind_tunnel