

## PERANCANGAN BILAH INVERSE TAPER BERBAHAN STYROFOAM DENGAN AIRFOIL NACA 4412

Simon Petrus Sidabutar<sup>1\*</sup>, Kardiman<sup>1</sup>, Rosmawan Arwinda Setyaningrum<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin Universitas Singaperbangsa, <sup>2</sup> Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Sumatera

Email: 1710631150160@student.unsika.ac.id<sup>1\*</sup>, kardiman@ft.unsika.ac.id<sup>1</sup>, rosmawan.13117028@student.itera.ac.id<sup>2</sup>

### ABSTRACT

*In the manufacture of wind turbines, there are several parameters that are taken into account, namely the wind speed in the area to be installed. The wind speed in Indonesia ranges from 3m/s – 11m/s, so it is quite difficult to implement a macro-scale wind turbine and the facilities are still inadequate. So this design to make a micro-scale wind turbine that adapts to the characteristics of wind speed in Indonesia. In this design, a blade with the Inverse Tapper type is made which is a blade type with an enlarged shape to the end to get a large sweep at the end of the blade and produce a lift force that is greater than the drag force on the blade so that it can rotate the blade. In the design of this blade, material changes are also made, generally the material used in the blade is made of wood, fiber, and aluminum. In this design, a material made of styrofoam is used, this is to make the mass of the blade lighter and make the blade able to rotate at the smallest wind speed. In this design, the maximum power obtained is 553 watts at 668 rounds of blade rotations.*

*Keywords: airfoil, inverse blade, Cl/Cd, styrofoam.*

### PENDAHULUAN

Pengembangan dalam potensi sumber bahan bakar alternatif yang terbarukan terus dilakukan oleh semua kalangan guna menjawab tantangan besar yang akan dihadapi umat manusia di muka bumi, yaitu ketersediaan energi bahan bakar yang semakin menipis [1]. Pentingnya energi terbarukan sebagai sumber energi dalam pembangkit listrik telah memiliki banyak sekali perkembangan dari hari ke hari di seluruh dunia. Alasan lain dari perkembangan energi terbarukan adalah, karena kurangnya sumber daya bahan bakar fosil, pemanfaatan sumber energi terbarukan telah menjadi merata di banyak negara. Banyak sekali ladang pembangkit listrik tenaga angin di negara Cina, Amerika, Jerman serta beberapa negara lainnya, baik di pasang di pedesaan, di tengah laut, pegunungan atau di tepi laut telah diinvestasikan oleh negara-negara tersebut [2]. Kendala dalam pemasangan turbin angin adalah pada tempat pemasangan karena kecepatan angin dan arah angin di seluruh wilayah memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Diketahui bahwa terdapat beberapa faktor yang akan mempengaruhi kecepatan dan arah angin, energi yang dikumpulkan dari ladang pembangkit listrik tenaga angin dapat dengan mudah diprediksi dan dihitung. Namun, di lingkungan kota, kecepatan angin dan arah angin tidak dapat diprediksi karena mudah dipengaruhi dengan cara yang berbeda atau dipengaruhi oleh semua jenis rintangan seperti gedung pencakar langit, apartemen blok, dll. Akibatnya, turbin angin ukuran besar tidak dapat bekerja secara efektif dan efisien [2]. Oleh karena itu, penelitian tentang pembangkit listrik tenaga angin telah dilakukan secara aktif. Pada awalnya, penelitian tentang generator turbin angin horizontal ukuran menengah dan besar menjadi fokus utama. Namun karena faktor-faktor yang mempengaruhi lingkungan

seperti kebisingan, turbin angin sampai pada kendala sulit dipasang di dekat tempat tinggal dan berdampak negatif pada ekosistem, seperti pergerakan burung. Namun sebaliknya dengan turbin angin skala mikro atau kecil dapat dipasang di dekat daerah pemukiman yang berdekatan dengan beban listrik, dan penelitian yang relevan telah dilakukan [3][4].

Setiap turbin angin dirancang untuk kondisi angin tertentu sesuai dengan Standar IEC 61400-1 [5]. Dalam standar tersebut mendefinisikan angin dalam beberapa kelompok sesuai dengan kecepatan angin. Saat ini, turbin angin di bagi menjadi kelas III, II dan I masing-masing sesuai dengan lokasi kecepatan angin rendah, sedang dan tinggi. Di beberapa negara, turbin angin yang dipasang di lokasi berkecepatan angin tinggi (Kelas I) telah kehilangan beberapa peminat konsumen secara progresif selama beberapa tahun terakhir karena lebih banyak yang beralih ke turbin angin di lokasi berkecepatan angin rendah (Kelas III). Pasar energi angin Asia telah didominasi oleh turbin angin kecepatan angin rendah selama dekade terakhir terutama karena di beberapa negara, angin berkualitas rendah lebih banyak seperti di negara India dan Cina [6]. Ada sejumlah literatur tentang turbin angin kecepatan angin rendah, terutama berfokus pada: sumber daya angin rendah dan kinerja aerodinamis pada bilah [7]. Secara umum, rotor turbin angin yang dirancang untuk daerah dengan kecepatan angin rendah lebih banyak menggunakan bilah yang lebih panjang, yang bertujuan untuk memperoleh lebih banyak tenaga angin dan mengurangi biaya. Biaya diameter rotor yang lebih besar serta tinggi menara yang lebih tinggi memiliki dampak pada total biaya sistem

turbin angin. Dengan beban tambahan yang bekerja di puncak Menara karena peningkatan daya dorong saat meningkatkan panjang bilah dan tinggi hub untuk menarik lebih banyak tenaga angin, biaya modal awal turbin angin juga akan meningkat. Dengan demikian, desain optimasi turbin angin harus mengimbangi tinggi hub dan diameter rotor, terutama di lokasi kecepatan angin rendah [8]. Ada beberapa material yang digunakan dalam pembuatan bilah seperti, bahan Styrofoam, kayu balsa ataupun fiberglass, Styrofoam digunakan dalam percobaan ini, pemilihan bahan yang digunakan terinspirasi dari pemakaian untuk pembuatan pesawat RC. Hal ini dikarenakan styrofoam merupakan bahan yang tangguh, ringan dan murah. Kelebihan inilah yang membuat bahan styrofoam yang digunakan [9]. Styrofoam atau plastik busa merupakan salah satu jenis plastik dari sekian banyak bahan lainnya. Styrofoam biasanya digunakan sebagai bahan pelindung dan penahan getaran barang-barang yang mudah pecah, seperti elektronik [10].

Melihat permasalahan tersebut, kami merancang bilah turbin angin yang dapat berputar pada kecepatan angin rendah, namun dengan biaya yang lebih ekonomis. Bilah yang kami rancang merupakan bilah dengan tipe inverse taper yang menggunakan bahan Styrofoam, pemilihan bahan tersebut untuk mengurangi massa pada bilah agar dapat berputar dalam kecepatan angin rendah. Pemilihan bahan juga di pilih karna dengan pembuatan secara massal, bilah ini dapat di produksi dengan biaya yang murah serta dapat di produksi dalam jumlah yang banyak dengan waktu yang lebih optimal.

**METODOLOGI PENELITIAN**

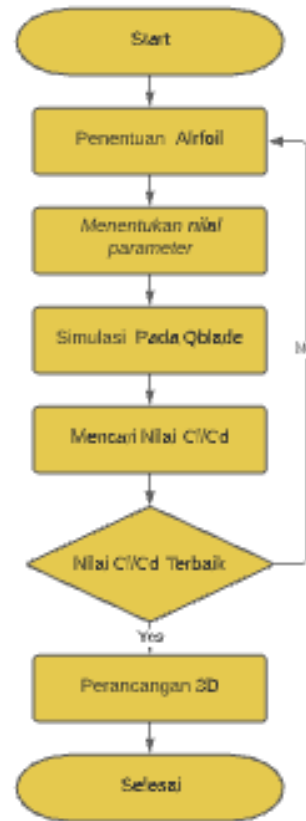
Penelitian ini meliputi perancangan dan simulasi, keduanya dilakukan pada PT. Lentera Bumi Nusantara, Tasikmalaya pada bulan Maret 2021 - April 2021. Peralatan dan bahan yang diperlukan untuk penelitian ini adalah:

- Laptop Asus X454Y
- Aplikasi CAD drawing
- Microsoft excel
- Q Blade V0,963

Prosedur perancangan

1. Menentukan jenis bilah yang digunakan sesuai kecepatan angin di PT.Lentera Bumi Nusantara
2. Menentukan jenis Airfoil pada Bilah
3. Perhitungan parameter perancangan bilah pada aplikasi microsoft excel
4. Perancangan bilah menggunakan aplikasi Qblade V0.963
5. Input jenis Airfoil yang di gunakan pada aplikasi Qblade V0.963
6. Input data perhitungan parameter bilah yang sudah di dapat
7. Membuat desain 2D dan 3D bilah pada aplikasi Solidwork 2016
8. Pemilihan material bilah
9. Simulasi statis pada bilah yang sudah didesain pada aplikasi Solidwork 2016
10. Menyimpulkan hasil akhir yang di dapat dari pengolahan data.

A. Perancangan bilah



Gambar 1. Blok Diagram Perancangan Bilah

Blok diagram pada Gambar 1 menjelaskan mengenai perancangan dalam pembuatan bilah secara umum, metodologi perancangan ini menggunakan software Qblade 0,963 sebagai software simulasi untuk mengetahui nilai Cl/Cd yang terbaik bagi bilah yang akan di rancang, dalam tahap itu kita akan membandingkan beberapa airfoil untuk dapat memilih airfoil yang akan digunakan, baru setelah mendapatkan nilai Cl/Cd yang sesuai dengan yang diinginkan, kemudian kita akan membuat design 3D bilah pada software solidwork 2016. Dalam perancangan ini, ditentukan nilai-nilai parameter awal dalam perancangan dengan Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Penentuan parameter kapasitas daya serta efisiensi subsistem dalam turbin angin.

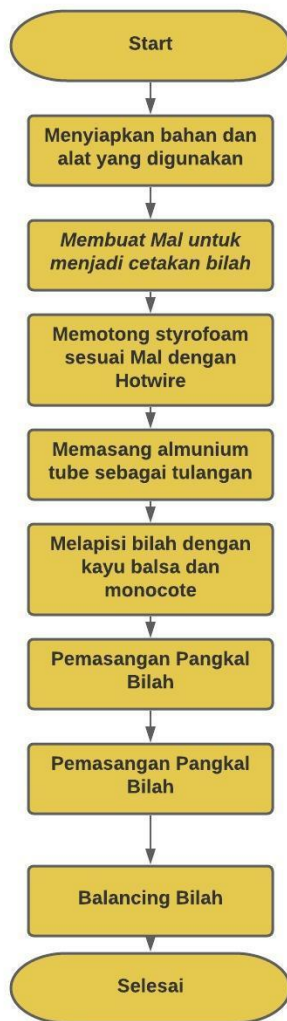
Kapasitas daya listrik	Efisiensi			
	Bilah	Generator	Controller	Sistem
<b>We</b>	<b>η</b>	<b>η</b>	<b>η</b>	<b>K</b>
Watt	%	%	%	%
250	0,3	0,8	0,8	0,1920

Dari Tabel 1 dan 2 didapat nilai-nilai parameter awal untuk perancangan bilah dan nilai nilai yang kita tentukan dapat dilihat dengan warna kuning, serta untuk nilai yang berwarna putih didapat melalui perhitungan.

Tabel 2. Perhitungan nilai daya angin, kecepatan angin, luas sapuan dan jari-jari bilah.

Daya angin	Kecepatan angin maksimal	Luas sapuan bilah	Jari-jari
$W_a$	$V_{max}$	$A$	$R$
	m/s	$m^2$	Meter
130208	12	125	0,60

B. Manufacture Bilah



Gambar 2. Blok Diagram Manufaktur Bilah

Pada Gambar 2 dapat ditunjukkan blok diagram dari manufaktur bilah, yang merupakan proses pembuatan bilah hingga bisa dilakukan pengujian.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Perancangan Bilah Styrofoam

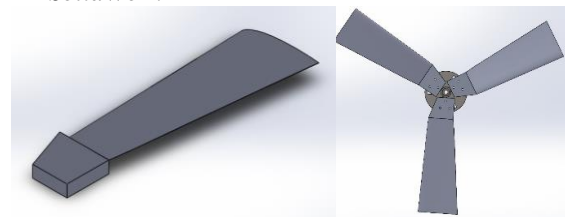
Dari perancangan dilakukan perhitungan setiap elemen pada bilah ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari hasil perhitungan pada Tabel 3 bisa dibuat desain 3D dari bilah dengan menggunakan nilai parameter-parameter tersebut, lalu menentukan titik koordinat pembuatan bilah dengan menggunakan software *SolidWork*.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Parameter Pada Setiap Elemen Bilah

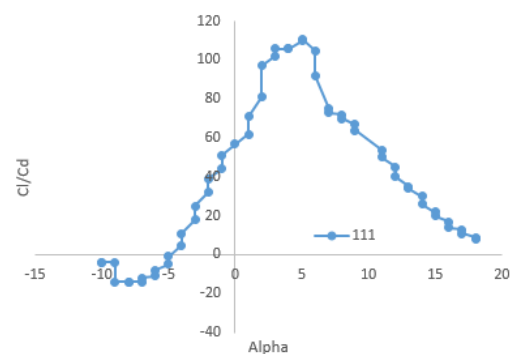
Elemen bilah	Jari jari parsial	Tsr	GEOMETRI BLADE					
			chord	Coefisien lift	Alpha	Flowangel	Twist	Twist linear
			$r$	$\lambda r$	$C_r$	$C_l$	$\alpha$	$\phi$
n	Meter			derajat	derajat	derajat	derajat	
1	0,15	1,75	0,120	0,76	2,37	19,83	17,46	12,49
2	0,20	2,33	0,127	0,54	0,9	15,47	14,57	11,87
3	0,25	2,92	0,135	0,41	-0,19	12,62	12,81	11,26
4	0,30	3,50	0,142	0,32	-0,635	10,63	11,27	10,64
5	0,35	4,08	0,150	0,26	-0,99	9,17	10,16	10,03
6	0,40	4,67	0,157	0,22	-1,3	8,06	9,33	9,41
7	0,45	5,25	0,165	0,18	-1,5	7,19	8,69	8,80
8	0,50	5,83	0,172	0,16	-1,7	6,49	8,19	8,18
9	0,55	6,42	0,180	0,14	-1,9	5,91	7,81	7,75
10	0,6	7	0,187	0,12	-2,08	5,42	7,50	6,95

B. Desain Bilah dengan menggunakan Software *SolidWork*



Gambar 3. Desain Bilah Inverse Tapper Berbahan Styrofoam

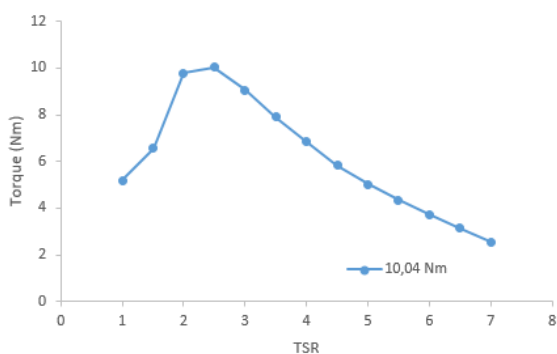
Gambar 3 merupakan desain dengan menggunakan software *SolidWork* yang diinput dengan memasukkan titik koordinat dan kemudian kita sesuaikan derajat *airfoil* agar terbentuk desain tersebut. Selanjutnya, simulasi rotor menggunakan metode BEM (*Blade Element Momentum*) dengan aplikasi *Q-Blade v0.963* disimulasikan untuk menghasilkan grafik pengaruh *Coefficient Performa* ( $C_p$ ) terhadap *Tip Speed Ratio* ( $TSR$ ), serta Daya ( $P$ ) yang didapatkan terhadap kecepatan angin ( $V$ ) serta beberapa grafik perbandingan. Pada simulasi diharapkan daya yang di hasilkan dapat lebih besar dari daya yang mampu dihasilkan oleh generator. Gambar 4 adalah kurva  $C_l$  terhadap  $\alpha$ .



Gambar 4. Grafik perbandingan  $C_l/C_d$  terhadap nilai  $\alpha$  pada *Q-blade 0,963*

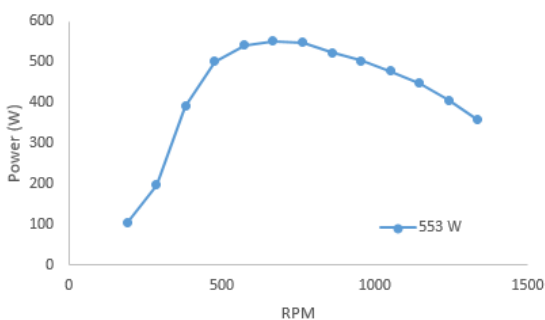
Kurva grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa nilai  $C_l/C_d$  terhadap  $\alpha$  tertinggi adalah 111 pada sudut serang  $5^\circ$ . Kondisi sudut serang  $5^\circ$  membuat sirkulasi udara lebih banyak mengalir pada permukaan bawah bilah, sebagai akibatnya gaya yang dihasilkan lebih besar.

Nilai  $Cl/Cd$  yang kecil disebabkan area sayap yang terkena udara lebih kecil. Sudut serang di bawah  $0^\circ$  menghasilkan sirkulasi udara lebih sedikit yang mengalir melalui permukaan bawah bilah. Kondisi ini membuat gaya angkat semakin kecil. Grafik  $\alpha - CL$  menampilkan kurva yang menyusut setelah sudut serang  $5^\circ$  hal itu menunjukkan *stall*. *Stall* merupakan keadaan *airfoil* yang tidak dapat dialiri udara dengan baik. *Stall* diakibatkan oleh sudut serang sayap yang terlalu tinggi [11]. Kemudian dicoba simulasi rotor menggunakan metode BEM (*Blade Element Momentum*) menggunakan aplikasi *Q-Blade v0.963*. Parameter yang digunakan yaitu jumlah perulangan sebanyak 1000 perulangan, denitas udara sebesar  $1,225 \text{ Kg/m}^3$ , dan viskositas dinamik sebesar  $1,647 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ . Berdasarkan simulasi didapat kurva *Torque* dibanding *Tip Speed Ratio* (TSR) terdapat pada Gambar 4 menurut hasil simulasi bilah.



Gambar 5. Grafik perbandingan *Torque* terhadap nilai *TSR* pada *Q-blade*

Kurva grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5 didapat nilai torsi tertinggi bilah berada pada *TSR* 2.5 *Tip speed ratio* (TSR) merupakan perbandingan kecepatan angin dengan kecepatan ujung sudu. Oleh karena itu untuk menghasilkan sebuah turbin angin selaku pembangkit listrik diperlukan sebuah turbin angin yang mempunyai torsi yang besar sehingga bisa menahan beban berat yang disebabkan oleh generator dengan rpm yang besar agar bisa mendapatkan daya yang besar juga.

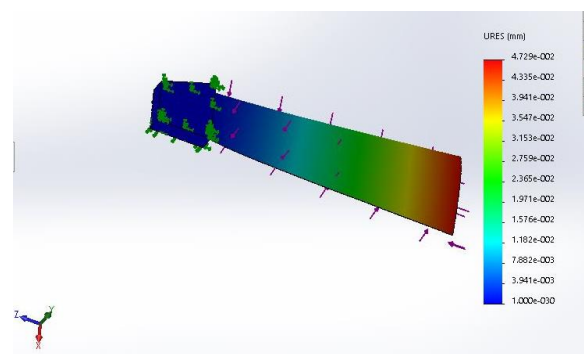


Gambar 6. Grafik perbandingan *Power* terhadap *RPM* pada *Qblade 0,963*

Kurva grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6 dapat dilihat pada kecepatan putar sebesar 668 rpm didapatkan daya sebesar 553 watt yang merupakan daya maksimum yang dapat di hasilkan oleh bilah. Daya

minimum dari bilah ini sebesar 104 watt pada kecepatan putar sebesar 191. Pada data ini dapat di lihat bahwa bilah ini membutuhkan kecepatan awal yang kecil untuk dapat menghasilkan daya. Jenis bilah *inverse* ini merupakan tipe bilah yang cocok digunakan pada kecepatan angin rendah, namun rawan pada keadaan badai karena mudah *cracking*.

Hasil simulasi didapatkan bahwa bilah *styrofoam* dengan *NACA 4412* memerlukan kecepatan mula yang kecil guna memutar bilah dan dapat diterapkan agar mampu mengonversi energi angin yang rendah menjadi energi listrik. Pada perancangan ini juga dilakukan uji bending atau disebut juga bending test yang merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan.



Gambar 7. Simulasi *Bending* Pada *Blade*

Pada uji bending seperti ditunjukkan pada Gambar 7 didapatkan hasil bahwa besar strain maksimum adalah  $4.729 \times 10^{-2} \text{ mm}$  dengan posisi strain maksimum terdapat pada ujung bilah *styrofoam*. Dikarenakan bagian tersebut mendapat terpaan angin paling besar karena luas permukaan bilah dibagian pangkal paling besar.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian terkait perancangan ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Bilah *inverse taper* berbahan ini merupakan tipe bilah yang cocok diterapkan pada kecepatan angin rendah karena bentuk dan massa bilah yang kecil.
2. Bilah yang dirancang mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 553 watt dengan kecepatan putar sebesar 668 putaran.
3. Dalam pembuatan turbin angin dibutuhkan torsi yang besar sehingga bisa menahan beban berat yang disebabkan oleh generator dengan Rpm yang besar agar bisa mendapatkan daya yang besar.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] S. O. Gultom. 2018 Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan. *Jurnal Kelautan*. 11 (1) pp. 95-103.  
 [2] D. Nongdhar dan B. Goswami. 2018. Design of Micro Wind Turbine for Low Wind Speed

- Area : A Review. *ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*. 2 (1) pp. 36-41.
- [3] J. Lee, K. Lee dan B. Kim. 2016. Aerodynamic optimal blade design and performance analysis of 3 MW wind turbine blade with AEP enhancement for low wind speed sites,” *J. Rnew Sustain Energy*. 8. pp. 1-12.
- [4] R. H. Barnes , E. Morozov dan K. Shankar. 2016. Structural optimisation of composite wind turbine blade structures with variations of internal geometry configuration. *Compos Struct*. 152. pp. 158-167.
- [5] I. E. C. I. 61400-1. 2005. *Wind Turbines Part 1: Design Requirements*; International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland.
- [6] V. Cristina, T. Thomas dan V. Anahí. 2016. JRC Wind Energy Status Report—2016 Edition Market, Technology and Regulatory Aspects of Wind Energy,” Office of the European Union, Luxembourg.
- [7] J. Lee, K. Lee dan B. Kim. 2016 Aerodynamic optimal blade design and performance analysis of 3 MW wind turbine blade with AEP enhancement for low-wind-speed-sites. *J. Renew. Sustain. Energy*. 8. pp. 1–12.
- [8] B. G. Deibanehbok Nongdhar. 2018. Design of Micro Wind Turbine for Low Wind Speed Areas: A Review. *ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*, vol. 2, no. 1, pp. 36-41.
- [9] I. I. Maulida Ningsih S. 2012. Analisa Kekuatan Material Expanded Polyolefin (EPO) Foam pada Pesawat Aeromodelling melalui Uji Tarik dan Impak. *Jurnal e-Dinamis*, vol. 1, no. 1, pp. 55-56.
- [10] D. Setiyawan, S. M. B. Respati dan M. Dzulfikar. 2020. Analisa Kekuatan Komposit Sandwich Karbon Fiber dengan Core Styrofoam sebagai Material pada Model Pesawat Tanpa Awak (Uji Tarik dan Uji Bending). *Momentum*. 16 (1) pp. 1-5.
- [11] I. Hanif, G. Jatisukamto, dan A. A. An Nafi. 2017. Pengaruh Sudut Tekuk (CANT) Winglet menggunakan Airfoil NACA 2215 pada Aerodinamika Sayap Pesawat. *Jurnal ROTOR*. 11 (Edisi Khusus) (3), pp. 41-45.