

**LAPORAN
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
LANJUTAN**



**PENGEMBANGAN PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL
BERBASIS *DRAG FORCES BLADES* SKALA MODEL di TEROWONGAN
ANGIN**

TIM PENGUSUL

INDRA HERLAMBA SIREGAR, S.T., M.T **NIDN : 0007097103**
Dr. MOHAMMAD EFFENDY, S.T., M.T. **NIDN : 0011037706**
AKHMAD HAFIZH AINUR RASYID, S.T., M.T. **NIDN : 0020038801**

**UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
NOPEMBER 2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Pengembangan Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal Berbasis Drag Forces Blades Skala Model di Terowongan Angin

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Indra Herlamba Siregar, S.T.,M.T.
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya
NIDN : 0007097103
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Mesin
Nomor HP : 081330561826
Alamat surel (e-mail) : indrasiregar@unesa.ac.id

Anggota (1)
Nama Lengkap : Dr. Moch Effendy, M.T.
NIDN : 0011037706
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

Anggota (2)
Nama Lengkap : Akhmad Hafidz Ainur Rasyid, S.T., M.T.
NIDN : 0020038801
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

Institusi Mitra (Jika Ada)
Nama Institusi Mitra :
Alamat :
Penanggung Jawab :
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke-2 Dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp.96958500
Biaya Keseluruhan : Rp.272093500

Menyetujui,
Ketua LPPM,

Prof. Dr. Darni, M.Hum.
NIDN 0026096502

Surabaya, 16 Desember 2019

Ketua Peneliti,



Indra Herlamba Siregar, ST,MT
NIDN 0007097103

RINGKASAN

Energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga semakin banyak konsumsinya menyebabkan cadangan sumber energi fosil yang di miliki oleh bangsa Indonesia semakin menipis pula, selain itu pemanfaatan energi fosil sebagai sumber energi yang dominan berdampak terhadap keuangan negara dan kualitas lingkungan hidup. Untuk mengatasi itu pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Pemerintah No.5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional dimana di targetkan pada tahun 2025 terinstalasikan turbin angin dengan kapasitas 250 MW dari kapasitas terpasang sekarang sebesar 1,4 MW, sehingga masih terbuka ruang untuk mengembangkan teknologi untuk memanfaatkan energi angin yaitu turbin angin. Oleh karena letak geografis Indonesia sebagai negara tropis menyebabkan karekteristik angin sering berubah-ubah dimana kondisi ini menyebabkan kesinambungan produksi energi dari turbin angin sumbu horizontal terganggu karena rotor turbin harus selalu berhadapan dengan datangnya arah angin. Selain itu kecepatan rata-rata angin di Indonesia yang rendah berkisar 3-6 m/s. Untuk itu sangatlah urgen untuk mengembangkan teknologi turbin angin yang mampu bekerja sesuai dengan karekteristik angin di Indonesia.

Pada tahun pertama ini adalah melakukan pengembangan desain bilah model turbin angin berbasis drag forces dengan menambahkan *fix drag reducing* pada bilah dengan variasi sudut 0° , 15° , 30° , 45° dan 60° . Model kemudian diujikan di terowongan angin dengan rentang kecepatan angin 3-6 m/s diperoleh hasil kinerja model turbin angin yang terbaik pada bukaan sudut 15° dengan nilai efisiensi sebesar 15,87 %. Sedangkan penelitian pada tahun kedua ini model turbin angin di desain dengan memberikan bilah pengganggu ganda di depan bilah utama yang berbasis rancangan yang dikembangkan oleh Savonius dengan jarak celah antar bilah pengganggu tetap 1 cm sedangkan jarak celah bilah pengganggu dengan bilah utama bervariasi dari 2, 4 dan 6 cm dengan variasi kecepatan angin di sesuaikan dengan kecepatan angin rata-rata di Indonesia berkisar 3 s.d 6 m/s.

Hasil penelitian memaparkan bahwa penambahan bilah pengganggu dengan jarak 6 cm menghasilkan kinerja yang terbaik sebesar 20,38 % dan power density sebesar 25 W/m^2 pada kecepatan angin 6 m/s.

Kata Kunci : *Turbin Angin Sumbu Vertikal, drag forces blades, Terowongan Angin, fix drag reducing*

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN SAMPUL..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| RINGKASAN | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | ix |
| | |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN..... | 14 |
| BAB 4. HASIL YANG DICAPAI | 19 |
| 4.1 Pelaksanaan Penelitian | 19 |
| 4.1.1 Langkah-langkah Penelitian | 21 |
| 4.1.2 Hasil Penelitian | 23 |
| 4.2 Analisa | 28 |
| 4.3 Pembahasan | 36 |
| 4.3.1 Karakteristik model turbin angin terhadap beban..... | 36 |
| 4.3.2 Pengaruh kec angin terhadap koefisien kinerja & torsi.. | 40 |
| BAB 5. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA | 50 |
| BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 52 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 1. Peta jalan pengembangan desain bilah pada turbin angin savonius | 7 |
| Tabel 2. Peta Jalan penelitian turbin angin savonius <i>multistage</i> | 8 |
| Tabel 3. Peta Jalan penambahan Pengarah Angin Untuk Meningkatkan kinerja turbin angin savonius | 9 |
| Tabel 4. Peta jalan pengembangan turbin angin sumbu vertikal berbasis <i>lift forces blades</i> dan <i>drag forces blades</i> yang telah dilakukan pengusul | 11 |
| Tabel 5. Rencana format pengumpulan data | 17 |
| Tabel 6. Hasil pengukuran pada jarak celah 0 cm | 23 |
| Tabel 7. Hasil pengukuran pada jarak celah 2 cm | 24 |
| Tabel 8. Hasil pengukuran pada jarak celah 4 cm | 26 |
| Tabel 9. Hasil pengukuran pada jarak celah 6 cm | 27 |
| Table 10. Daya Angin (PW) vs Kecepatan Angin (V) | 29 |
| Tabel 11. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density Cp dan CT pada jarak celah 0 cm | 31 |
| Tabel 12. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density Cp dan CT pada jarak celah 2 cm | 32 |
| Tabel 13. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density Cp dan CT pada jarak celah 4 cm | 34 |
| Tabel 14. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density Cp dan CT pada jarak celah 6 cm | 35 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1. Prinsip kerja Turbin angin Sovanius | 6 |
| Gambar 2. Bagan Alir PDUPT tahun kedua | 15 |
| Gambar 3. Diagram fishbone hubungan variabel bebas dengan variabel respon... | 16 |
| Gambar 4. Ilustrasi rangkaian instrumen penelitian | 17 |
| Gambar 5. Model Tahun kedua PDUPT..... | 18 |
| Gambar 6. Benda uji model turbin angin <i>savonius</i> satu tingkat dengan penambahan bilah pengganggu di wind tunnel | 19 |
| Gambar 7. Model turbin angin Savonius dengan bilah pengganggu dengan berbagai variasi jarak celah | 20 |
| Gambar 8. Rangkaian Turbin Angin pada Terowongan Penelitian | 21 |
| Gambar 9. Mengatur Kecepatan Kipas | 21 |
| Gambar 10. Pengukuran Kecepatan Angin..... | 22 |
| Gambar 11. Pemberian Beban Poros | 22 |
| Gambar 12. Pengukuran Putaran Poros Turbin dengan <i>Tachometer</i> | 23 |
| Gambar 13. Distribusi Power Densitiy turbin angin savonius standar atau jarak celah 0 pada berbagai kecepatan angin | 37 |
| Gambar 14. Distribusi Power Densitiy turbin angin savonius standar dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 2 cm pada berbagai kecepatan angin | 37 |
| Gambar 15. Distribusi Power Densitiy turbin angin savonius standar dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 4 cm pada berbagai kecepatan angin | 38 |
| Gambar 16. Distribusi Power Densitiy turbin angin savonius standar dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 6 cm pada berbagai kecepatan angin | 38 |
| Gambar 17. Distribusi putaran dan torsi pada berbagai jarak celah yang Diujikan | 39 |
| Gambar 18. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa bilah pengganggu ganda pada berbagai kecepatan angin yang diujikan | 40 |
| Gambar 19. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa bilah pengganggu ganda pada berbagai kecepatan angin yang diujikan | 41 |
| Gambar 20. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 2 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan | 41 |

| | |
|--|----|
| Gambar 21. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 2 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan | 42 |
| Gambar 22. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 4 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan..... | 43 |
| Gambar 23. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 4 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan | 43 |
| Gambar 24. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 6 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan | 44 |
| Gambar 25. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 6 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan | 44 |
| Gambar 26. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 3 m/s | 45 |
| Gambar 27. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 4 m/s | 46 |
| Gambar 28. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 5 m/s | 46 |
| Gambar 29. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 6 m/s | 47 |
| Gambar 30. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 3 m/s | 48 |
| Gambar 31. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 4 m/s | 48 |
| Gambar 32. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 5 m/s | 49 |
| Gambar 33. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 6 m/s | 49 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan manusia dimana akhir-akhir ini konsumsinya semakin meningkat seiring banyaknya temuan-temuan yang membuat hidup manusia lebih nyaman baik dibidang industri, transportasi, penerangan dan peralatan-peralatan rumah tangga.

Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut untuk saat ini disuplai oleh energi fosil. Namun ketika energi fosil ini di konversikan ke energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk menyokong aktifitasnya memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena melepas emisi ke atmosfer berupa gas CO₂, hal menyebabkan terjadinya efek rumah kaca yang merupakan salah satu faktor dominan terjadinya pemanasan global (Thomas R. Anderson dkk., 2016).

Selain itu energi fosil merupakan energi yang terklasifikasi sebagai energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga pemakaian energi fosil menyebabkan cadangan energi yang dimiliki juga berkurang secara permanen sehingga pada akhir-akhir ini harga dari energi fosil melonjak tajam dikarenakan jumlah cadangan diseluruh dunia menipis namun tingkat konsumsi masyarakat dunia meningkat sehingga berlaku hukum pasar.

Suplai energi Indonesia pada tahun 2015 masih di dominasi oleh energi yang berasal dari energi fosil, untuk mengatasi ketersediaan energi indonesia melalui PP No.5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional dimana di targetkan pada tahun 2025 minyak bumi menjadi kurang dari 20% , gas bumi menjadi lebih dari 30% , batubara menjadi lebih dari 33%, biofuel menjadi lebih dari 5%, panas bumi menjadi lebih dari 5% , energi baru dan terbarukan lainnya, khususnya biomasa, nuklir, tenaga air skala kecil, tenaga surya, dan tenaga angin menjadi lebih dari 5% dan bahan bakar lain yang berasal dari pencairan batubara menjadi lebih dari 2% (Pusdatin ESDM, 2011).

Angin merupakan sumber energi penting sejak waktu lama di

beberapa negara. Cina telah memanfaatkan energi angin untuk pemompaan lebih dari seribu tahun lalu. Di Eropa barat, kincir angin mekanik untuk pemompaan atau penggilingan telah digunakan sejak abad ke-13 dan di Amerika untuk pemompaan pada peternakan sejak awal abad ke-18. Sementara itu, turbin angin listrik telah diaplikasikan oleh para petani di Amerika sejak tahun 1930.

Indonesia yang memiliki pantai sepanjang 80.791,42 km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kecepatan angin rata-rata dipesisir pantai Indonesia secara umum antara 3 m/detik hingga 5 m/detik. Kemudian dari data cetak biru (*blue print*) Energi Nasional departemen ESDM, total potensi energi angin diperkirakan mencapai 9 GW. Angka ini merupakan suatu potensi besar jika dapat dimanfaatkan untuk menuai energi angin demi terciptanya ketahanan energi nasional dalam beberapa waktu ke depan (Yudha Partomo, 2012).

Namun dari potensi yang ada hingga tahun 2010, kapasitas terpasang dalam sistem konversi energi angin di seluruh Indonesia mencapai 1,4 MW (WWEA, 2011) yang tersebar di Pulau Selayar (Sulawesi Utara), Nusa Penida (Bali), Yogyakarta, dan Bangka Belitung dengan teknologi turbin angin yang digunakan saat ini dikembangkan adalah jenis turbin angin sumbu horizontal skala besar.

Ada beberapa permasalahan dalam pengembangan turbin angin sumbu horizontal dimana turbin jenis ini memerlukan kecepatan awal turbin angin untuk berputar adalah 3,24 m/s (Ronit K. Singh, 2013), letak geografis Indonesia sebagai negara tropis menyebabkan karakteristik angin di Indonesia sangat berbeda dengan karakteristik angin di negara-negara maju yang telah memanfaatkan angin sebagai sumber energinya antara lain arah angin yang sering berubah-ubah, dimana kondisi ini menyebabkan kesinambungan produksi energi dari turbin angin sumbu horizontal terganggu karena rotor turbin harus selalu berhadapan dengan datangnya arah angin (anonim, 2013).

Selain itu konstruksi tower untuk turbin angin sumbu horizontal lebih tinggi sehingga biayanya lebih mahal dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal, letak generator turbin angin sumbu horizontal

diatas sehingga menyulitkan perawatan sedangkan letak generator turbin angin sumbu vertikal di bawah, kemudian tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh perputaran turbin angin sumbu horizontal lebih tinggi daripada turbin angin sumbu vertikal (Muhammad M A, 2012)

Oleh karena itu pengusul tertarik mengembangkan prototipe turbin angin sumbu vertikal berbasis *drag forces blades* yang dikenal dengan turbin angin Sovaniaus. Penelitian bertujuan untuk mengurangi drag pada *returning blade* dan mendesain alat untuk mempercepat aliran angin ketika mengalir dipermukaan *blade*, hal ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja turbin angin yang akan dikembangkan tim pengusul dimana penelitian dilakukan dalam skala model di terowongan angin.

1.2 Tujuan Khusus

1. Mendapatkan database karekteristik aerodimanis hasil dari pengembangan desain model turbin angin sumbu vertikal berbasis *drag forces blades* di terowong angin.
2. Mendapatkan database kinerja hasil dari pengembangan desain model turbin angin sumbu vertikal berbasis *drag forces blades* di terowong angin.
3. Mendapatkan prototipe turbin angin yang mampu berkerja pada kecepatan angin yang rendah pada tingkat efisiensi diatas 15 %.
4. Memperoleh kinerja prototipe turbin angin pada kondisi real di lapangan.

1.3 Urgensi Penelitian

Laju pertumbuhan penduduk Indonesia rata-rata sebesar 1,49 %, sehingga tercatat dari hasil sensus penduduk 2010 jumlah penduduk Indonesia sebesar 237.641.326 jiwa. Begitupula laju pertumbuhan ekonomi Indonesia tercatat pada posisi 5,02 % (BI, 2011). Hal ini tentunya berdampak terhadap konsumsi energi Indonesia. Konsumsi energi Indonesia sebesar 0,467 toe per kapita (Pusdatin ESDM, 2011) dengan sebaran final pasokan energi primer yang berasal dari energi fosil berupa batubara, minyak bumi dan gas alam sebesar 76,2 % dari

total energi indonesia pada tahun 2010 (Syahrial, 2011).

Energi fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga pemakaian sumber energi ini mengakibatkan cadangannya berkurang. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2011 melaporkan data cadangan energi fosil yang dimiliki oleh bangsa Indonesia adalah minyak mentah sebesar 4,23 Milliar barel, batubara sebesar 126,3 Milliar Ton dan gas sebesar 108,4 TSFC (Syahrial, 2011).

Pemakaian energi fosil memiliki beberapa dampak yang negatif baik ditinjau dari sisi ekonomi maupun lingkungan. Dampak secara ekonomi disebabkan kemampuan produksi energi fosil dalam negeri tidak mampu memenuhi kebutuhan nasional. Impor minyak pada tahun 2010 tercatat sebesar 26 juta kiloliter sedangkan impor LPG 1,62 juta ton (Syahrial, 2011), dimana hal ini berimplikasi terhadap cadangan devisa negara, disamping itu kebijakan untuk mensubsidi energi sungguh menguras anggaran pemerintah dimana pada tahun 2012 subsidi yang diberikan untuk energi sebesar Rp346,4 triliun dengan rincian Rp 211,9 triliun untuk BBM dan realisasi subsidi listrik sebesar Rp 94,6 triliun (anonim, 2013).

Selain itu pemanfaatan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi nasional ini berdampak negatif terhadap lingkungan, baik skala regional berupa pencemaran udara sampai skala global berupa perubahan iklim yang berdampak terhadap mencairnya es kutub, pergeseran musim, peningkatan permukaan laut sampai kepada pemanasan global (Armely dkk., 2004).

Untuk mengatasi hal tersebut pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden No.5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menunjukkan agar penggunaan dan pengembangan energi baru dan terbarukan meningkat yang didalamnya adalah energi angin yang ditargetkan pada tahun 2025 terinstalasi turbin angin dengan kapasitas 250 MW dari kapasitas terpasang sekarang sebesar 1,4 MW (Dewan Riset Nasional, 2006).

Rasio elektrifikasi nasional masih 75,3 % sehingga masih ada sekitar 24,7 % rumah tangga yang belum teraliri oleh listrik (DJK

Kementerian ESDM, 2012) oleh karena itu dipandang sangat urgen untuk mengembangkan sumber energi listrik yang ramah terhadap lingkungan dan mampu mencukupi kebutuhan energi listrik dalam skala rumah tangga.

1.4 Temuan Yang Ditargetkan

Penelitian yang diajukan oleh pengusul ditargetkan mendapatkan prototipe turbin angin sumbu vertikal yang memiliki kinerja optimum dan mampu berkerja pada kecepatan angin rendah yaitu lebih kecil dari 3 m/s yang merupakan kecepatan rata-rata di Indonesia dengan tingkat efisiensi konversi energi lebih besar 15 %.

1.5 Rencana Capaian Tahunan

Adapun rencana capaian tahunan dari penelitian ini adalah:

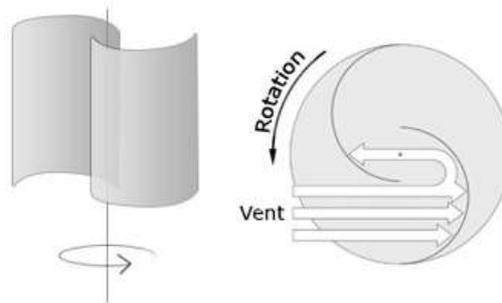
| No | Jenis Luaran | | Indikator Capaian | | | | |
|--|---|-------------------------------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|
| | Kategori | Sub Kategori | Wajib | Tambahan | TS | TS+1 | TS+2 |
| 1 | Artikel ilmiah dimuat di jurnal | Internasional bereputasi | √ | √ | Submit | accepted | Published |
| | | Nasional Terakreditasi | | √ | Submit | accepted | accepted |
| 2 | Artikel ilmiah dimuat di prosiding | Internasional terindeks | √ | | | Sudah dilaksanakan | |
| | | Nasional | | √ | | | Sudah dilaksanakan |
| 3 | Invited Speaker dalam temu Ilmiah | Internasional | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Nasional | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| 4 | Visiting Lecturer | Internasional | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| 5 | Hak Kekayaan Intelektual (HKI) | Paten | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Paten Sederhana | | √ | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Hak Cipta | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Merek Dagang | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Rahasia Dagang | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Desain Produk Industri | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Indikasi Geografis | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| | | Perlindungan Varietas Tanaman | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada |
| Perlindungan Topografi Sirkuit Terpadu | | | | Tidak ada | Tidak ada | Tidak ada | |
| 6 | Teknologi Tepat Guna | | | √ | Tidak ada | Produk | Produk |
| 7 | Model/Purwarupa/Desain/Karya Seni/Rekayasa Sosial | | | √ | Produk | Produk | Produk |
| 8 | Buku Ajar (ISBN) | | √ | | draft | Editing | Published |
| 9 | Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) | | | | 2 | 3 | 4 |

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State of the art Penelitian

Turbin angin sumbu vertikal secara umum dibagi menjadi 2 jenis yaitu turbin angin tipe drag dan turbin angin tipe lift. Turbin angin tipe drag juga dikenal dengan tipe S yang pertama kali ditemukan oleh Sigurd Johannes Savonius pada 1922. Turbin angin ini bilahnya terdiri dari dua kurva atau lebih yang membentuk huruf S dengan prinsip kerja angin yang menerpa lengkungan bilah baik cekung maupun cembung akan menimbulkan gaya drag, dimana gaya inilah yang akan memutar poros dari turbin angin Savonius.



Gambar 1. Prinsip kerja Turbin angin Savonius

Pada akhir-akhir banyak penelitian yang dilakukan terkait dengan turbin angin savonius, yang terklasifikasi dengan dimensi bilah, profil bilah, *multi stage*, *end plates* dan pemanfaatan peralatan tambahan untuk meningkatkan daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin berbasis savonius.

Aspek rasio pada turbin angin savonius yang merupakan perbandingan tinggi dan diameter bilah (lihat gambar 3.a), dimana semakin besar perbandingan aspek rasio semakin rendah kerugian akibat pengaruh dari ujung bilah dari penelitian aspek rasio 4 menghasilkan efisiensi terbaik untuk bilah savonius konvensional (Saha, 2008),

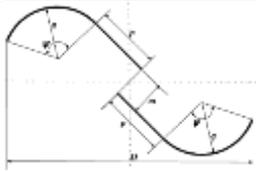
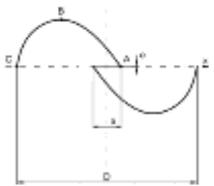
namun dengan memperhatikan stabilitas struktur maka aspek ratio pada turbin angin savonius adalah lebih kecil 1,5 (akwa, 2012).

Overlap rasio pada turbin angin savonius adalah perbandingan jarak antara bilah dengan diameter bilah savonius (lihat gambar 3.b) yang terbaik pada rentang nilai overlap rasio 0,2 sampai dengan 0,3 (Fujisawa, 1992)

Pengaruh jumlah bilah pada turbin angin savonius telah banyak diteliti baik oleh Mahmoud dkk (2012), Ali (2013), Fitrianda dkk (2014) dan Wenehenubuna dkk (2015), hasil penelitian mereka memaparkan bahwa semakin banyak jumlah bilah pada turbin angin savonius berdampak terhadap penurunan kinerja turbin dan jumlah bilah 2 yang adalah jumlah yang menghasilkan kinerja turbin yang terbaik.

Penelitian terhadap bentuk geometris bilah dari turbin angin savonius yang bertujuan meningkatkan kinerja turbin telah banyak dilakukan oleh para peneliti antara lain Kamoji dkk (2009), Kacprzak (2013) dan Tartuferi (2015) yang memodifikasi bentuk kurva dasar bilah yang ditemukan oleh Savonius.

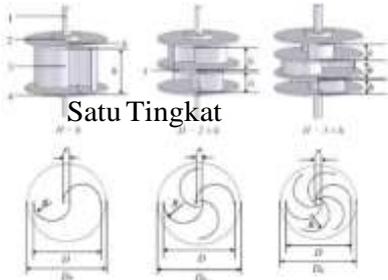
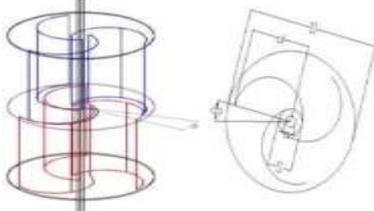
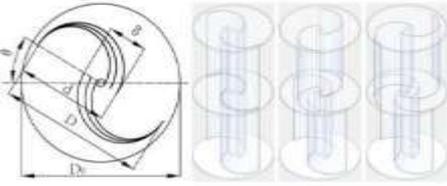
Tabel 1. Peta jalan pengembangan desain bilah pada turbin angin savonius

| Peneliti | Desain | TSR | $C_{p_{max}}$ |
|-------------------|--|---------|---------------|
| Kamoji dkk (2009) |  | 0,7-0,9 | 0,2 |
| Kacprzak (2013) |  | 0,8 | 0,34 |
| Tartuferi (2015) |  | 0,5-0,7 | 0,21 |

Penelitian pengaruh jumlah tingkat terhadap turbin angin savonius dengan bilah standard jumlah bilah dua peringkat Kamoji dkk (2008), Jian

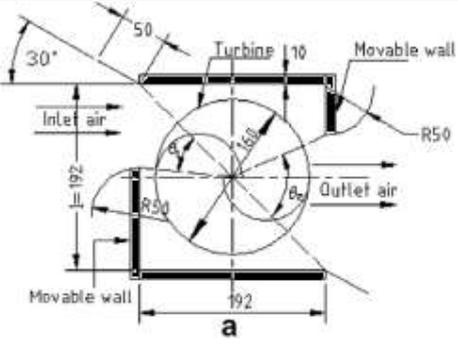
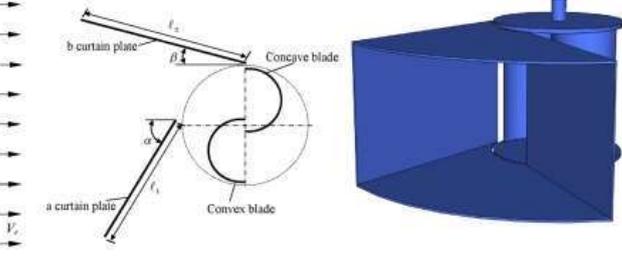
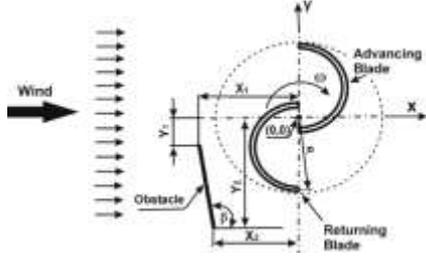
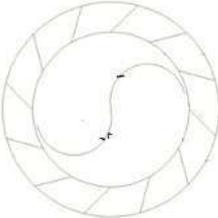
dkk (2012) dan Jian dkk (2016). Sedangkan Kamoji dkk (2011) meneliti dengan bilah termodifikasi Untuk Kumbernuss dkk (2012) meneliti dengan bilah standard jumlah bilah tiga pertingkat.

Tabel 2. Peta Jalan penelitian turbin angin savonius *multistage*

| Peneliti | Desain dan Hasil |
|-----------------------|---|
| Kamoji dkk (2008) |  <p>Satu Tingkat $C_{pmax} = 0,17$ $TSR = 0,6 - 0,8$ Dua Tingkat $C_{pmax} = 0,145$ $TSR = 0,7 - 0,9$ Tiga Tingkat $C_{pmax} = 0,135$ $TSR = 0,7 - 0,9$</p> |
| Kumbernuss dkk (2012) |  <p>$C_{pmax} = 0,2$ $TSR = 0,5 - 0,7$</p> |
| Jian dkk (2016) |  <p>$C_{pmax} = 0,361$ $TSR = 0,8 - 1$ $TSR = 0,8 - 1$</p> |

Untuk meningkatkan kinerja turbin angin Savonius banyak peneliti menambahkan peralatan untuk mempecepat aliran angin menerpa bilah baik dalam bentuk box Irabu dkk (2007) maupun circular Fitrianda dkk (2015), Altan dkk (2010) mengarah arah aliran menuju *advancing blade* yang bertujuan menambah daya dorong dan menghalangi aliran ke *returning blade* agar dayaambat berkurang, sedangkan Mohamed (2011) hanya menambahkan pengganggu (*obstacle*) di depan *returning blade* untuk mengurangi daya hambat.

Tabel 3. Peta Jalan penambahan Pengarah Angin Untuk Meningkatkan kinerja turbin angin savonius

| Peneliti | Desain dan Hasil |
|-------------------------|--|
| <p>Irabu dkk (2007)</p> |  <p>$C_{p_{max}} = 0,27$ pada $TSR = 0,5 - 0,7$</p> |
| <p>Altan dkk (2010)</p> |  <p>$C_{p_{max}} = 0,37$ pada $TSR = 0,3 - 0,5$</p> |
| <p>Mohamed (2011)</p> |  <p>$C_{p_{max}} = 0,25$ $TSR = 0,7 - 0,9$</p> |
| <p>Fitranda (2014)</p> |  <p>$C_{p_{max}} = 0,24$ pada Kecepatan angin 3,5 m/s</p> |

Dari uraian diatas yang berkaitan hasil-hasil penelitian terdahulu, perlu mengembangkan prototipe turbin angin sumbu vertikal yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah, dalam kaitan ini pengusul dalam tiga tahun kedepan akan mengembangkan model turbin angin yang berbasis *drag forces lift* dimulai dari pengembangan bentuk bilah, susunan dua tingkat dan penambahan peralatan untuk mempercepat aliran angin menerpa bilah turbin.

2.2. Roadmap Penelitian Pengusul

Secara garis besar penelitian pengembangan turbin angin sumbu vertikal telah dilakukan pengusul sejak tahun 2012 dengan melakukan rancang bangun dalam skala model turbin angin sumbu vertikal berbasis turbin angin Darrieus tipe-H atau berbasis *lift forces blades*, kemudian dilanjutkan pada tahun 2013 dan 2014 penelitian ini didanai oleh Dikti dalam skim hibah bersaing dimana fokus penelitian ini adalah diperolehnya prototipe turbin angin untuk pembangkit listrik skala rumah tangga berbasis pengujian model di terowongan angin, pada tahap ini pengembangan yang dilakukan peneliti adalah membuat turbin angin Darrieus tipe-H dua tingkat dengan jumlah bilah per tingkat 3, sedangkan yang ada sekarang adalah turbin angin Darrieus tipe-H satu tingkat, kemudian jenis bilahnya juga peneliti kembangkan dengan memodifikasi bilah jenis airfoil NACA 0018. Pada tahun 2015 sampai 2017 pengusul melakukan pengembangan turbin angin sumbu vertical dengan bilah kombinasi atau bilah hybrid yang juga didanai oleh Dikti dalam skim hibah bersaing.

Untuk penelitian yang terkait pengembangan turbin angin berbasis *drag forces blades* yang telah dilakukan oleh pengusul adalah penelitian pengaruh jumlah bilah dan penambahan *wind deflector* pada turbin angin savonius (fitranda, 2014) dan penelitian turbin angin savonius dua tingkat dengan sudut phase 90^0 pada kondisi angin real (siregar, 2017). Peta jalan penelitian yang telah dilakukan pengusul pada turbin angin sumbu vertikal baik yang berbasis *lift forces blades* maupun *drag forces blades* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Peta jalan pengembangan turbin angin sumbu vertikal berbasis *lift forces blades* dan *drag forces blades* yang telah dilakukan pengusul

| Peneliti | Desain Bilah berbasis <i>lift forces</i> dan Hasil |
|--------------------|---|
| Siregar dkk (2013) |  <p data-bbox="890 674 1318 712">$Cp_{max} = 0,13$ pada sudut pitch = 30^0</p> |
| Siregar dkk (2014) |  <p data-bbox="900 1039 1305 1072">Produksi listrik 748 Wh per hari</p> |
| Siregar dkk (2016) |  <p data-bbox="879 1420 1289 1453">$Cp_{max} = 0,07$ pada TSR = 0,3-0,4</p> |

| | | |
|--------------------|---|---|
| Siregar dkk (2017) |  | $Cp_{max} = 0,08$ pada TSR = 0,3-0,4 |
| Peneliti | Desain Bilah berbasis <i>drag forces</i> dan Hasil | |
| Fitrandi (2014) |  | $Cp_{max} = 0,24$ pada Kecepatan angin 3,5 m/s |
| Siregar (2017) |  | Produksi listrik 1136 Wh per hari |
| Siregar dkk (2018) |  | $Cp_{max} = 0,1587$ Kecepatan angin 6 m/s |

2.3. Persamaan yang terkait dengan parameter yang di analisa

Data yang diambil dari penelitian perlu dianalisa dan diolah dalam bentuk grafik atau tabel, oleh karena itu diperlukan persamaan yang terkait agar tujuan dari penelitian dapat tercapai. Adapun persamaan-persamaan tersebut dipaparkan

sebagai berikut :

1. Power density

$$PowerDensity = \frac{T\omega}{A} \quad (1)$$

T = Torsi turbin angin (N.m)

ω = putaran turbin angin (rps)

A = Luas sapuan turbin angin (m²)

2. Tip speed ratio (λ)

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_w} \quad (2)$$

R = jari-jari bilah turbin angin (m)

ω = putaran turbin angin (rps)

V_w = Kecepatan turbin angin (m/s)

3. Koefisien kinerja turbin angin (C_p)

$$C_p = \frac{T\omega}{0.5 \rho A V_w^3} \quad (3)$$

4. Koefisien torsi turbin angin (C_T)

$$C_T = \frac{T}{0.5 \rho A R V_w^2} = \frac{C_p}{\lambda} \quad (4)$$

BAB 3

METODE PENELITIAN

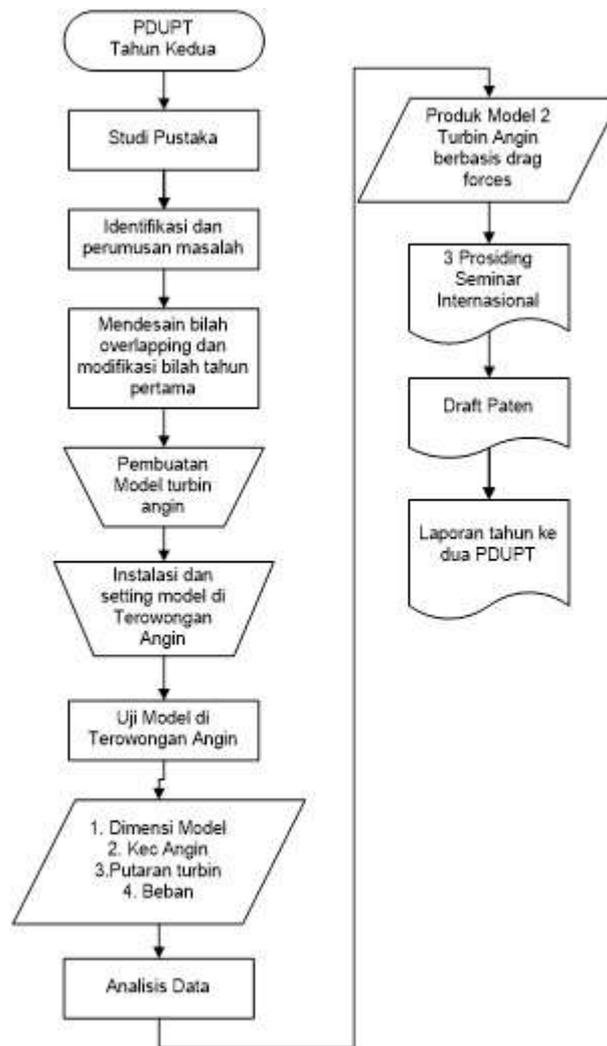
3.1 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian adalah suatu bagan yang menggambarkan langkah-langkah dalam pelaksanaan selama penelitian dilakukan. Pada tahun pertama penelitian dilakukan dengan mendesain *flexible dan fix drag reducing* pada bilah berbasis *drag forces* di terowongan angin. Bilah yang menghasilkan kinerja yang terbaik pada kecepatan angin 3 – 6 m/s dijadikan model turbin angin pada tahun pertama. Pada tahun kedua pengusul akan mengembangkan desain tahun pertama dengan menambah celah antar bilah dengan poros yang bertujuan menambah gaya dorong pada *returning blade* serta mendesain alat mempercepat aliran angin yang menerpa bilah, rekayasa ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi model turbin angin tahun kedua daripada tahun model turbin angin pertama dengan Tingkat Kesiapan Teknologi mencapai TKT 3. Pada tahun ketiga pengusul akan membuat prototipe dari model turbin angin tahun kedua yang semua komponennya sudah tervalidasi dilingkungan laboratorium dan sebagian komponen tervalidasi dalam lingkungan yang relevan untuk mengetahui karakteristik prototipe baik dari segi kinerja bilah, kestabilan system dan ketangguhan system dengan TKT akhir penelitian 4.

Lokasi pengujian dilakukan di laboratorium mekanika fluida teknik mesin Universitas Negeri Surabaya. Secara garis besar bagan alir penelitian tahun kedua dapat dilihat pada gambar 2.

3.2. Metodologi Penelitian

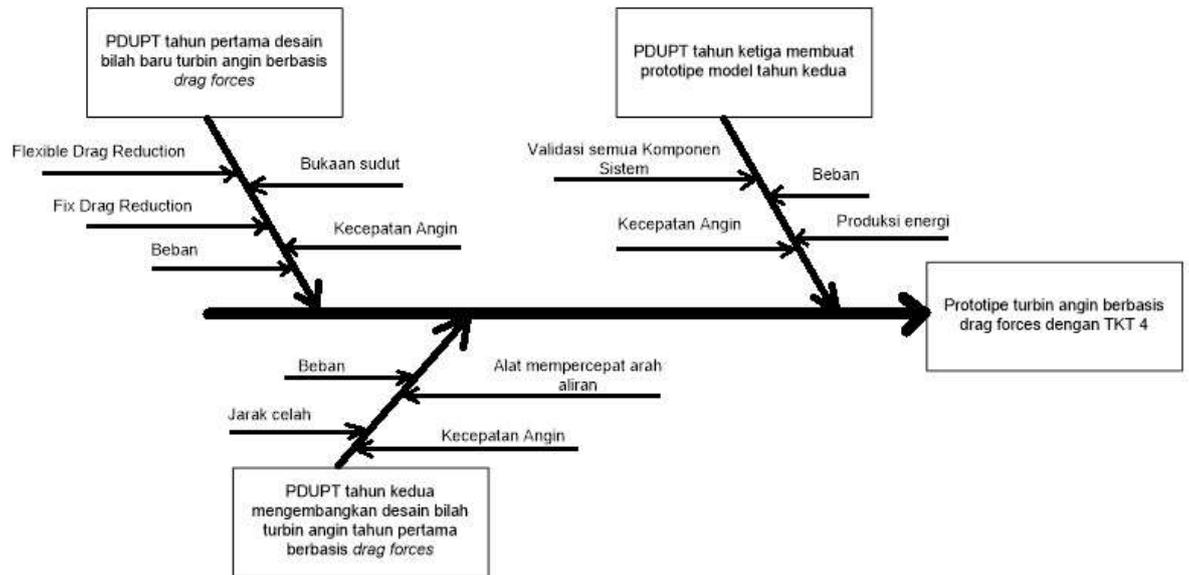
Penelitian yang diajukan pengusul adalah penelitian eksperimental yang bertujuan menganalisis hubungan antara variabel bebas yang diujikan dan variabel respon yang kemudian dianalisa setelah itu hasil analisa disajikan dalam bentuk gambar ataupun paparan dimana hubungan antara variabel bebas yang diujikan dan variabel respon dalam bentuk fish diagram seperti gambar 3.



Gambar 2. Bagan Alir PDUPT tahun kedua

Agar tujuan dari penelitian tahun kedua ini tercapai maka perlu diuraikan beberapa hal antara lain:

1. Alokasi waktu direncanakan mulai April sampai dengan Nopember 2019.
2. Lokasi Penelitian dilakukan di Laboratorium mekanika fluida UNESA
3. Variabel respon dari penelitian berupa Power density, koefisien kinerja turbin (C_p), koefisien torsi (C_T), Tip speed Ration (TSR).



Gambar 3. Diagram fishbone hubungan variabel bebas dengan variabel respon

4. Parameter yang diukur antara lain

- a. Torsi Poros Turbin angin (N.m)
- b. Putaran turbin (rpm)
- c. Kecepatan angin (m/s)

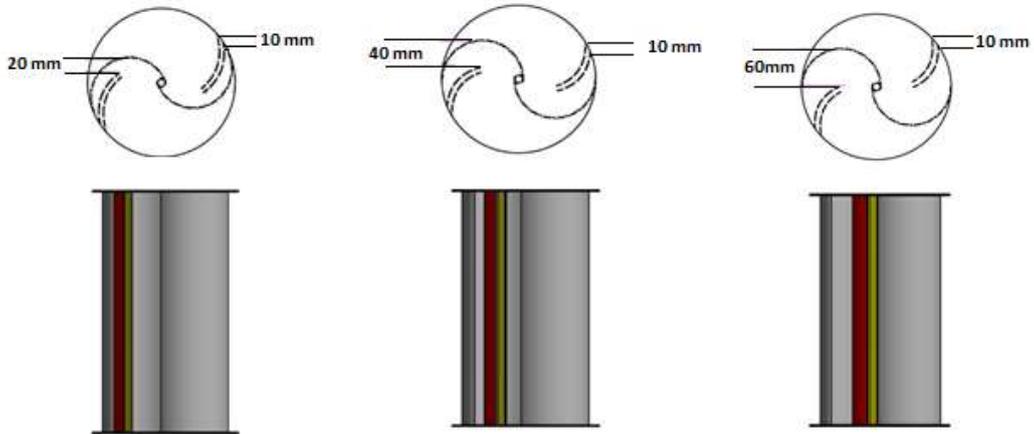
Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan dan instrumen merupakan peralatan uji yang digunakan untuk memperoleh data penelitian. Rangkaian peralatan dan instrumen dapat dilihat pada gambar 4 yang terdiri dari :

- a. Satu set prototype turbin angin sumbu vertikal.
- b. Anemometer.
- c. Tachometer.
- d. Potensiometer.
- e. Temperatur dan humidity meter

Prosedur Penelitian

1. Instalasi Model di dudukan Turbin angin
2. Hidupkan kipas, set potensiometer sesuai dengan kecepatan angin yang akan diujikan.



Gambar 5. Model Tahun kedua PDUPT

Teknik Analisis Data

1. Analisis data dilaksanakan dengan menelaah data hasil rata-rata yang telah dimasukkan ke dalam tabel. Langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut dengan menggunakan persamaan 1 sampai 4 seperti yang dipaparkan pada sub bab sebelumnya lalu menyajikannya dalam bentuk tabel dan gambar. Langkah berikutnya adalah menginterpretasikan data tersebut dalam bentuk pembahasan dengan mengacu dari studi pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu. Kemudian menarik kesimpulan dari hasil pembahasan tersebut.

BAB 4

HASIL YANG DICAPAI

4.1 Pelaksanaan Penelitian

Pada tahap pelaksanaan penelitian memasang benda uji model turbin angin berbasis drag forces berupa model turbin angin *savonius* satu tingkat dengan penambahan bilah pengganggu.



Gambar 6. Benda uji model turbin angin *savonius* satu tingkat dengan penambahan bilah pengganggu di *wind tunnel*

Penambahan 2 bilah pengganggu dengan 3 variasi jarak celah dengan bilah utama 2, 4 dan 6 cm serta turbin savonius tanpa bilah pengganggu sebagai control atau pembanding.



(a) Tanpa Pengganggu



(b) Jarak 2 cm



(c) Jarak 4 cm



(d) Jarak 6 cm

Gambar 7. Model turbin angin Savonius dengan bilah pengganggu dengan berbagai variasi jarak celah

4.1.1 Langkah-langkah Penelitian

1. Merangkai model turbin angin savonius satu tingkat pada terowongan penelitian



Gambar 8. Rangkaian Turbin Angin pada Terowongan Penelitian

2. Hidupkan kipas angin, lalu naikan kecepatan putaran kipas secara bertahap agar dapat mencapai kecepatan angin yang dibutuhkan yaitu : 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s.



Gambar 9. Mengatur Kecepatan Kipas

3. Kecepatan angin diukur setelah angin melewati terowongan dengan *anemometer*. Kecepatan angin yang sama namun dengan beban dan variasi jarak celah blade pengganggu yang berbeda



Gambar 10. Pengukuran Kecepatan Angin

4. Berikan beban pada poros dengan skema pembebanan tali pada poros. Variasi beban yang di gunakan adalah 250 gr, 500 gr, 750 gr dan seterusnya sampai dengan turbin angin berhenti



Gambar 11. Pemberian Beban Poros

5. Pengambilan data ketika turbin di berikan beban dan poros beban telah berhenti bergerak menurun



Gambar 12. Pengukuran Putaran Poros Turbin dengan *Tachometer*

6. Mencatat hasil data yang di peroleh yaitu kecepatan poros tyrbn yang terbaca pada *tachometer*

4.1.2. Hasil Penelitian

Hasil penelitian desain turbin angin savonius dengan double layer obstacle dengan variasi celah 0, 2, 4 dan 6 cm disajikan pada bab ini:

Tabel 6. Hasil pengukuran pada jarak celah 0 cm

| Variasi | Kecepatan Angin (m/s) | Beban Poros (gram) | Beban Pegas (gram) | Putaran Turbin (rpm) |
|---------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 0 | 3 | 0 | 0 | 196,5 |
| 0 | 3 | 250 | 125 | 191,2 |
| 0 | 3 | 500 | 145 | 160,2 |
| 0 | 3 | 750 | 355 | 154,1 |
| 0 | 3 | 1000 | 550 | 118,7 |
| 0 | 3 | 1250 | 150 | 0,0 |
| | | | | |
| 0 | 4 | 0 | 0 | 215,0 |
| 0 | 4 | 250 | 125 | 210,4 |
| 0 | 4 | 500 | 270 | 204,1 |
| 0 | 4 | 750 | 415 | 178,6 |
| 0 | 4 | 1000 | 600 | 170,6 |
| 0 | 4 | 1250 | 650 | 167,5 |
| 0 | 4 | 1500 | 780 | 152,1 |
| 0 | 4 | 1750 | 1035 | 0,0 |
| | | | | |

| | | | | |
|---|---|------|------|-------|
| 0 | 5 | 0 | 0 | 330,1 |
| 0 | 5 | 250 | 145 | 310,3 |
| 0 | 5 | 500 | 300 | 305,3 |
| 0 | 5 | 750 | 430 | 299,6 |
| 0 | 5 | 1000 | 615 | 285,5 |
| 0 | 5 | 1250 | 750 | 270,7 |
| 0 | 5 | 1500 | 930 | 260,2 |
| 0 | 5 | 1750 | 1060 | 257,2 |
| 0 | 5 | 2000 | 1215 | 233,7 |
| 0 | 5 | 2250 | 1360 | 215,8 |
| 0 | 5 | 2500 | 1535 | 159,3 |
| 0 | 5 | 2750 | 1775 | 0,0 |
| | | | | |
| 0 | 6 | 0 | 0 | 388,8 |
| 0 | 6 | 250 | 125 | 379,2 |
| 0 | 6 | 500 | 280 | 376,1 |
| 0 | 6 | 750 | 420 | 370,4 |
| 0 | 6 | 1000 | 640 | 360,1 |
| 0 | 6 | 1250 | 755 | 350,2 |
| 0 | 6 | 1500 | 880 | 324,7 |
| 0 | 6 | 1750 | 1015 | 312,5 |
| 0 | 6 | 2000 | 1205 | 299,7 |
| 0 | 6 | 2250 | 1350 | 294,1 |
| 0 | 6 | 2500 | 1545 | 280,6 |
| 0 | 6 | 2750 | 1640 | 277,5 |
| 0 | 6 | 3000 | 1760 | 260,5 |
| 0 | 6 | 3250 | 1895 | 245,3 |
| 0 | 6 | 3500 | 2050 | 0,0 |

Tabel 7. Hasil pengukuran pada jarak celah 2 cm

| Variasi | Kecepatan Angin (m/s) | Beban Poros (gram) | Beban Pegas (gram) | Putaran Turbin (rpm) |
|---------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 2 | 3 | 0 | 0 | 196,5 |
| 2 | 3 | 250 | 95 | 191,2 |
| 2 | 3 | 500 | 235 | 160,2 |

| | | | | |
|---|---|------|------|-------|
| 2 | 3 | 1000 | 550 | 118,7 |
| 2 | 3 | 1250 | 665 | 0,0 |
| | | | | |
| 2 | 4 | 0 | 0 | 239,1 |
| 2 | 4 | 250 | 115 | 220,2 |
| 2 | 4 | 500 | 195 | 215,9 |
| 2 | 4 | 750 | 395 | 202,4 |
| 2 | 4 | 1000 | 575 | 191,9 |
| 2 | 4 | 1250 | 715 | 176,4 |
| 2 | 4 | 1500 | 860 | 161,9 |
| 2 | 4 | 1750 | 1055 | 0,0 |
| | | | | |
| 2 | 5 | 0 | 0 | 350,2 |
| 2 | 5 | 250 | 125 | 333,4 |
| 2 | 5 | 500 | 285 | 327,6 |
| 2 | 5 | 750 | 400 | 314,7 |
| 2 | 5 | 1000 | 580 | 309,4 |
| 2 | 5 | 1250 | 705 | 299,1 |
| 2 | 5 | 1500 | 880 | 286,4 |
| 2 | 5 | 1750 | 1060 | 275,6 |
| 2 | 5 | 2000 | 1235 | 252,8 |
| 2 | 5 | 2250 | 1380 | 244,7 |
| 2 | 5 | 2500 | 1550 | 239,5 |
| 2 | 5 | 2750 | 1700 | 179,7 |
| 2 | 5 | 3000 | 1840 | 161,5 |
| 2 | 5 | 3250 | 1985 | 0,0 |
| | | | | |
| 2 | 6 | 0 | 0 | 413,6 |
| 2 | 6 | 250 | 115 | 404,8 |
| 2 | 6 | 500 | 270 | 400,1 |
| 2 | 6 | 750 | 380 | 389,3 |
| 2 | 6 | 1000 | 610 | 373,4 |
| 2 | 6 | 1250 | 750 | 370,1 |
| 2 | 6 | 1500 | 930 | 340,5 |
| 2 | 6 | 1750 | 1120 | 335,6 |
| 2 | 6 | 2000 | 1250 | 315,4 |
| 2 | 6 | 2250 | 1450 | 295,1 |
| 2 | 6 | 2500 | 1630 | 290,2 |

| | | | | |
|---|---|------|------|-------|
| 2 | 6 | 2750 | 1790 | 287,5 |
| 2 | 6 | 3000 | 1890 | 277,6 |
| 2 | 6 | 3250 | 2050 | 275,4 |
| 2 | 6 | 3500 | 2210 | 262,4 |
| 2 | 6 | 3750 | 2330 | 260,4 |
| 2 | 6 | 4000 | 2470 | 0,0 |

Tabel 8. Hasil pengukuran pada jarak celah 4 cm

| Variasi | Kecepatan Angin (m/s) | Beban Poros (gram) | Beban Pegas (gram) | Putaran Turbin (rpm) |
|---------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 4 | 3 | 0 | 0 | 225,2 |
| 4 | 3 | 250 | 200 | 210,5 |
| 4 | 3 | 500 | 410 | 181,5 |
| 4 | 3 | 750 | 550 | 177,9 |
| 4 | 3 | 1000 | 410 | 175,5 |
| 4 | 3 | 1250 | 730 | 168,1 |
| 4 | 3 | 1500 | 850 | 153,4 |
| 4 | 3 | 1750 | 1020 | 0,0 |
| | | | | |
| 4 | 4 | 0 | 0 | 282,3 |
| 4 | 4 | 250 | 125 | 268,7 |
| 4 | 4 | 500 | 280 | 255,3 |
| 4 | 4 | 750 | 415 | 240,4 |
| 4 | 4 | 1000 | 540 | 233,2 |
| 4 | 4 | 1250 | 740 | 222,9 |
| 4 | 4 | 1500 | 925 | 193,8 |
| 4 | 4 | 1750 | 1075 | 178,6 |
| 4 | 4 | 2000 | 1230 | 0,0 |
| | | | | |
| 4 | 5 | 0 | 0 | 401,2 |
| 4 | 5 | 250 | 150 | 391,1 |
| 4 | 5 | 500 | 305 | 378,2 |
| 4 | 5 | 750 | 430 | 360,6 |
| 4 | 5 | 1000 | 615 | 355,1 |
| 4 | 5 | 1250 | 740 | 349,3 |
| 4 | 5 | 1500 | 950 | 320,1 |

| | | | | |
|---|---|------|------|-------|
| 4 | 5 | 1750 | 1055 | 311,9 |
| 4 | 5 | 2000 | 1175 | 294,7 |
| | | | | |
| 4 | 6 | 0 | 0 | 473,4 |
| 4 | 6 | 250 | 115 | 423,4 |
| 4 | 6 | 500 | 290 | 415,5 |
| 4 | 6 | 750 | 445 | 403,7 |
| 4 | 6 | 1000 | 575 | 366,8 |
| 4 | 6 | 1250 | 755 | 356,4 |
| 4 | 6 | 1500 | 925 | 340,6 |
| 4 | 6 | 1750 | 1030 | 334,8 |
| 4 | 6 | 2000 | 1190 | 331,9 |
| 4 | 6 | 2250 | 1415 | 323,4 |
| 4 | 6 | 2500 | 1580 | 318,7 |
| 4 | 6 | 2750 | 1610 | 312,1 |
| 4 | 6 | 3000 | 1735 | 295,1 |
| 4 | 6 | 3250 | 1850 | 287,2 |
| 4 | 6 | 3500 | 1940 | 267,3 |

Tabel 9. Hasil pengukuran pada jarak celah 6 cm

| Variasi | Kecepatan Angin (<i>m/s</i>) | Beban Poros (<i>gram</i>) | Beban Pegas (<i>gram</i>) | Putaran Turbin (<i>rpm</i>) |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 6 | 3 | 0 | 0 | 190,4 |
| 6 | 3 | 250 | 65 | 175,1 |
| 6 | 3 | 500 | 140 | 149,6 |
| 6 | 3 | 750 | 230 | 112,1 |
| 6 | 3 | 1000 | 340 | 0,0 |
| | | | | |
| 6 | 4 | 0 | 0 | 254,3 |
| 6 | 4 | 250 | 65 | 242,4 |
| 6 | 4 | 500 | 160 | 219,6 |
| 6 | 4 | 750 | 250 | 201,2 |
| 6 | 4 | 1000 | 360 | 196,8 |
| 6 | 4 | 1250 | 470 | 173,4 |
| 6 | 4 | 1500 | 620 | 0,0 |

| | | | | |
|---|---|------|------|-------|
| 6 | 5 | 0 | 0 | 327,5 |
| 6 | 5 | 250 | 80 | 366,6 |
| 6 | 5 | 500 | 180 | 344,6 |
| 6 | 5 | 750 | 270 | 329,6 |
| 6 | 5 | 1000 | 440 | 316,7 |
| 6 | 5 | 1250 | 475 | 304,3 |
| 6 | 5 | 1500 | 580 | 289,9 |
| 6 | 5 | 1750 | 665 | 271,5 |
| 6 | 5 | 2000 | 770 | 238,6 |
| 6 | 5 | 2250 | 850 | 237,2 |
| 6 | 5 | 2500 | 990 | 164,6 |
| 6 | 5 | 2750 | 1140 | 0,0 |
| 6 | 6 | 0 | 0 | 446,4 |
| 6 | 6 | 250 | 90 | 427,1 |
| 6 | 6 | 500 | 165 | 412,3 |
| 6 | 6 | 750 | 275 | 386,7 |
| 6 | 6 | 1000 | 420 | 370,7 |
| 6 | 6 | 1250 | 505 | 365,5 |
| 6 | 6 | 1500 | 645 | 350,5 |
| 6 | 6 | 1750 | 750 | 344,7 |
| 6 | 6 | 2000 | 840 | 332,6 |
| 6 | 6 | 2250 | 860 | 329,8 |
| 6 | 6 | 2500 | 940 | 320,7 |
| 6 | 6 | 2750 | 1250 | 318,2 |
| 6 | 6 | 3000 | 1450 | 314,4 |
| 6 | 6 | 3250 | 1630 | 311,9 |
| 6 | 6 | 3500 | 1790 | 306,5 |
| 6 | 6 | 3750 | 1890 | 297,3 |
| 6 | 6 | 4000 | 2050 | 289,6 |
| 6 | 6 | 4250 | 2210 | 0,0 |

4.2 Analisa

Data-data dari hasil penelitian di Analisa berdasarkan rumus perhitungan mencari densitas daya, koefisiensi kinerja dan koefisien torsi turbin angin.

Sebagai contoh, di ketahui blade tanpa penganggu 0 dengan kecepatan angin (V) sebesar 3m/s, beban poros (m1) sebesar 250 gr, beban neraca pegas (m2) sebesar 125 gr, dan kecepatan poros turbin (N) sebesar 191,2

a. Daya Angin (P_w):

$$P_w = 0,5\rho AV^3 \infty$$

Dimana:

$$V^3 \infty = 3^3$$

$$= 27$$

$$A = L \times D$$

$$= 0,35 \times 0,35$$

$$= 0,1225$$

$$P_w = 0,5\rho AV^3 \infty$$

$$= 0,5 \times 1 \times 27 \times 0,1225$$

$$= 1,857161 \text{ watt}$$

Hasil perhitungan Daya Angin (PW) vs Kecepatan Angin (V) ditabulasikan pada tabel 6.

Table 10. Daya Angin (PW) vs Kecepatan Angin (V)

| Kecepatan Angin (m/s) | Daya Angin (Pw) |
|-----------------------|-----------------|
| 3 | 1,9 |
| 4 | 4,4 |
| 5 | 8,6 |
| 6 | 14,9 |

b. Daya Turbin (P_T):

$$P_T = T \cdot \omega$$

Dimana:

$$T = F \times r \dots\dots\dots(N.m)$$

$$F = \frac{m_1 - m_2}{1000} \times g$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{m_1 - m_2}{1000} \times 9,8 \\ &= \frac{250 - 125}{1000} \times 9,8 \\ &= \frac{125}{1000} \times 9,8 \\ &= 0,125 \times 9,8 \\ &= 1,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= F \times r \\ &= 1,225 \times r \\ &= 1,225 \times 0,005 \\ &= 0,006125 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi N}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 191,2}{60} \\ &= \frac{1200,736}{60} \\ &= 20,0122667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_T &= T \cdot \omega \\ &= 0,006125 \times 20,0122667 \\ &= 0,12257513 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\text{Power Density} = \frac{PT}{A} = \frac{0,0061}{0,1225} = 0,05 \text{ W/m}^2$$

c. Koefisien kinerja Turbin (%):

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{PT}{P_w} \\ \eta &= \frac{0,12257513}{1,857161} \times 100\% \\ &= 6,60013501\% \end{aligned}$$

d. Tip speed Ratio (λ) = $\frac{\omega R}{v} = \frac{2\pi n}{60v} = \frac{2\pi(191,2)}{60 \times 3} = 1,167$

e. Koefisien Torsi (C_T) = $\frac{C_p}{\lambda} = \frac{0,006}{1,167} = 0,005$

Selanjutnya berdasarkan acuan rumus perhitungan di atas maka dapat nilai daya dan efisiensi yang di tuliskan dalam bentuk tabel 7.

Tabel 11. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density C_p dan C_T pada jarak celah 0 cm

| Variasi | Kecepatan Angin (m/s) | λ | Power Density (W/m ²) | C_p (%) | C_T (%) |
|---------|-----------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| 0 | 3 | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0 | 3 | 1,17 | 1,00 | 6,60 | 5,65 |
| 0 | 3 | 0,98 | 2,38 | 15,71 | 16,06 |
| 0 | 3 | 0,94 | 2,55 | 16,81 | 17,87 |
| 0 | 3 | 0,72 | 2,24 | 14,75 | 20,35 |
| 0 | 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | | | | | |
| 0 | 4 | 0,98 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0 | 4 | 0,96 | 1,10 | 3,06 | 3,18 |
| 0 | 4 | 0,93 | 1,97 | 5,47 | 5,85 |
| 0 | 4 | 0,82 | 2,50 | 6,97 | 8,52 |
| 0 | 4 | 0,78 | 2,86 | 7,95 | 10,18 |
| 0 | 4 | 0,77 | 4,21 | 11,71 | 15,27 |
| 0 | 4 | 0,70 | 4,58 | 12,76 | 18,32 |
| 0 | 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | | | | | |
| 0 | 5 | 1,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0 | 5 | 1,14 | 1,36 | 1,94 | 1,71 |
| 0 | 5 | 1,12 | 2,56 | 3,64 | 3,26 |
| 0 | 5 | 1,10 | 4,01 | 5,72 | 5,21 |
| 0 | 5 | 1,05 | 4,60 | 6,56 | 6,27 |
| 0 | 5 | 0,99 | 5,67 | 8,07 | 8,14 |
| 0 | 5 | 0,95 | 6,21 | 8,85 | 9,28 |
| 0 | 5 | 0,94 | 7,43 | 10,59 | 11,24 |
| 0 | 5 | 0,86 | 7,68 | 10,94 | 12,78 |
| 0 | 5 | 0,79 | 8,04 | 11,46 | 14,49 |
| 0 | 5 | 0,58 | 6,44 | 9,17 | 15,71 |

| | | | | | |
|---|---|------|-------|-------|-------|
| 0 | 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 0 | 6 | 1,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0 | 6 | 1,16 | 1,98 | 1,64 | 1,41 |
| 0 | 6 | 1,15 | 3,46 | 2,86 | 2,49 |
| 0 | 6 | 1,13 | 5,12 | 4,22 | 3,73 |
| 0 | 6 | 1,10 | 5,43 | 4,47 | 4,07 |
| 0 | 6 | 1,07 | 7,26 | 5,98 | 5,60 |
| 0 | 6 | 0,99 | 8,43 | 6,95 | 7,01 |
| 0 | 6 | 0,95 | 9,62 | 7,93 | 8,31 |
| 0 | 6 | 0,91 | 9,98 | 8,22 | 8,99 |
| 0 | 6 | 0,90 | 11,08 | 9,14 | 10,18 |
| 0 | 6 | 0,86 | 11,22 | 9,25 | 10,80 |
| 0 | 6 | 0,85 | 12,90 | 10,63 | 12,55 |
| 0 | 6 | 0,80 | 13,52 | 11,15 | 14,02 |
| 0 | 6 | 0,75 | 13,92 | 11,47 | 15,32 |
| 0 | 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

Tabel 12. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density Cp dan CT pada jarak celah 2 cm

| Variasi | Kecepatan Angin (m/s) | λ | Power Density (W/m ²) | Cp (%) | CT (%) |
|---------|-----------------------|-----------|-----------------------------------|--------|--------|
| 2 | 3 | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | 1,17 | 1,24 | 8,18 | 7,01 |
| 2 | 3 | 0,98 | 1,78 | 11,72 | 11,99 |
| 2 | 3 | 0,72 | 2,24 | 14,75 | 20,35 |
| 2 | 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 2 | 4 | 1,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 4 | 1,01 | 1,24 | 3,46 | 3,43 |
| 2 | 4 | 0,99 | 2,76 | 7,67 | 7,76 |
| 2 | 4 | 0,93 | 3,01 | 8,37 | 9,03 |
| 2 | 4 | 0,88 | 3,41 | 9,50 | 10,81 |
| 2 | 4 | 0,81 | 3,95 | 10,99 | 13,61 |
| 2 | 4 | 0,74 | 4,34 | 12,07 | 16,28 |

| | | | | | |
|---|---|------|-------|-------|-------|
| 2 | 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | | | | | |
| 2 | 5 | 1,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5 | 1,22 | 1,74 | 2,49 | 2,04 |
| 2 | 5 | 1,20 | 2,95 | 4,20 | 3,50 |
| 2 | 5 | 1,15 | 4,61 | 6,57 | 5,70 |
| 2 | 5 | 1,13 | 5,44 | 7,75 | 6,84 |
| 2 | 5 | 1,10 | 6,82 | 9,72 | 8,87 |
| 2 | 5 | 1,05 | 7,43 | 10,59 | 10,10 |
| 2 | 5 | 1,01 | 7,96 | 11,34 | 11,24 |
| 2 | 5 | 0,93 | 8,10 | 11,54 | 12,46 |
| 2 | 5 | 0,90 | 8,91 | 12,70 | 14,17 |
| 2 | 5 | 0,88 | 9,53 | 13,57 | 15,47 |
| 2 | 5 | 0,66 | 7,90 | 11,26 | 17,10 |
| 2 | 5 | 0,59 | 7,84 | 11,17 | 18,89 |
| 2 | 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | | | | | |
| 2 | 6 | 1,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 6 | 1,24 | 2,29 | 1,89 | 1,53 |
| 2 | 6 | 1,22 | 3,85 | 3,18 | 2,60 |
| 2 | 6 | 1,19 | 6,03 | 4,97 | 4,18 |
| 2 | 6 | 1,14 | 6,10 | 5,03 | 4,41 |
| 2 | 6 | 1,13 | 7,75 | 6,39 | 5,65 |
| 2 | 6 | 1,04 | 8,13 | 6,70 | 6,45 |
| 2 | 6 | 1,02 | 8,85 | 7,30 | 7,12 |
| 2 | 6 | 0,96 | 9,90 | 8,17 | 8,48 |
| 2 | 6 | 0,90 | 9,88 | 8,15 | 9,05 |
| 2 | 6 | 0,89 | 10,57 | 8,72 | 9,84 |
| 2 | 6 | 0,88 | 11,56 | 9,53 | 10,86 |
| 2 | 6 | 0,85 | 12,90 | 10,64 | 12,55 |
| 2 | 6 | 0,84 | 13,84 | 11,41 | 13,57 |
| 2 | 6 | 0,80 | 14,17 | 11,68 | 14,59 |
| 2 | 6 | 0,79 | 15,48 | 12,76 | 16,06 |
| 2 | 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

Tabel 13. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density Cp dan CT pada jarak celah 4 cm

| Variasi | Kecepatan Angin (m/s) | λ | Power Density (W/m ²) | Cp (%) | CT (%) |
|---------|-----------------------|-----------|-----------------------------------|--------|--------|
| 4 | 3 | 1,37 | 0,00 | 0,00 | 1,37 |
| 4 | 3 | 1,29 | 0,44 | 2,91 | 1,29 |
| 4 | 3 | 1,11 | 0,68 | 4,51 | 1,11 |
| 4 | 3 | 1,09 | 1,49 | 9,83 | 1,09 |
| 4 | 3 | 1,07 | 4,34 | 28,59 | 1,07 |
| 4 | 3 | 1,03 | 3,66 | 24,14 | 1,03 |
| 4 | 3 | 0,94 | 4,17 | 27,54 | 0,94 |
| 4 | 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | |
| 4 | 4 | 1,29 | 0,00 | 0,00 | 1,29 |
| 4 | 4 | 1,23 | 1,41 | 3,91 | 1,23 |
| 4 | 4 | 1,17 | 2,35 | 6,54 | 1,17 |
| 4 | 4 | 1,10 | 3,37 | 9,38 | 1,10 |
| 4 | 4 | 1,07 | 4,49 | 12,50 | 1,07 |
| 4 | 4 | 1,02 | 4,76 | 13,24 | 1,02 |
| 4 | 4 | 0,89 | 4,67 | 12,98 | 0,89 |
| 4 | 4 | 0,82 | 5,05 | 14,05 | 0,82 |
| 4 | 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | |
| 4 | 5 | 1,47 | 0,00 | 0,00 | 1,47 |
| 4 | 5 | 1,43 | 1,64 | 2,33 | 1,43 |
| 4 | 5 | 1,39 | 3,09 | 4,40 | 1,39 |
| 4 | 5 | 1,32 | 4,83 | 6,88 | 1,32 |
| 4 | 5 | 1,30 | 5,72 | 8,15 | 1,30 |
| 4 | 5 | 1,28 | 7,46 | 10,63 | 1,28 |
| 4 | 5 | 1,17 | 7,37 | 10,50 | 1,17 |
| 4 | 5 | 1,14 | 9,08 | 12,93 | 1,14 |
| 4 | 5 | 1,08 | 10,18 | 14,50 | 1,08 |
| | | | | | |
| 4 | 6 | 1,45 | 0,00 | 0,00 | 1,45 |

| | | | | | |
|---|---|------|-------|-------|------|
| 4 | 6 | 1,29 | 2,39 | 1,97 | 1,29 |
| 4 | 6 | 1,27 | 3,65 | 3,01 | 1,27 |
| 4 | 6 | 1,23 | 5,15 | 4,25 | 1,23 |
| 4 | 6 | 1,12 | 6,53 | 5,38 | 1,12 |
| 4 | 6 | 1,09 | 7,39 | 6,09 | 1,09 |
| 4 | 6 | 1,04 | 8,20 | 6,76 | 1,04 |
| 4 | 6 | 1,02 | 10,09 | 8,32 | 1,02 |
| 4 | 6 | 1,01 | 11,26 | 9,28 | 1,01 |
| 4 | 6 | 0,99 | 11,31 | 9,32 | 0,99 |
| 4 | 6 | 0,97 | 12,28 | 10,12 | 0,97 |
| 4 | 6 | 0,95 | 14,90 | 12,28 | 0,95 |
| 4 | 6 | 0,90 | 15,63 | 12,89 | 0,90 |
| 4 | 6 | 0,88 | 16,83 | 13,88 | 0,88 |
| 4 | 6 | 0,82 | 17,46 | 14,39 | 0,82 |

Tabel 14. Hasil pengukuran tip speed ratio, power density Cp dan CT pada jarak celah 6 cm

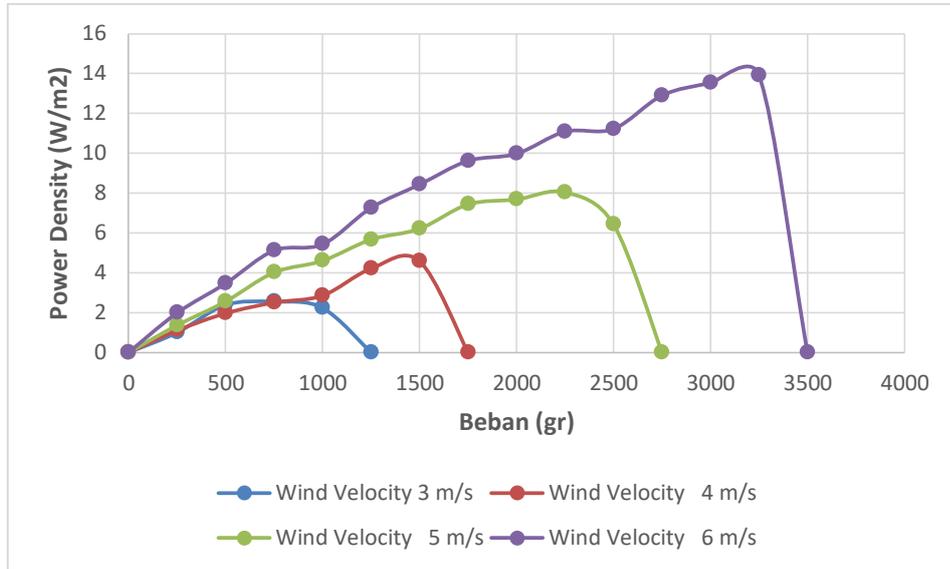
| Variasi | Kecepatan Angin (m/s) | λ | Power Density (W/m ²) | Cp (%) | CT (%) |
|---------|-----------------------|-----------|-----------------------------------|--------|--------|
| 6 | 3 | 1,16 | 0,00 | 0,00 | 1,16 |
| 6 | 3 | 1,07 | 1,36 | 8,95 | 1,07 |
| 6 | 3 | 0,91 | 2,25 | 14,87 | 0,91 |
| 6 | 3 | 0,68 | 2,44 | 16,10 | 0,68 |
| 6 | 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 4 | 1,16 | 0,00 | 0,00 | 1,16 |
| 6 | 4 | 1,11 | 1,88 | 5,22 | 1,11 |
| 6 | 4 | 1,01 | 3,13 | 8,70 | 1,01 |
| 6 | 4 | 0,92 | 4,21 | 11,72 | 0,92 |
| 6 | 4 | 0,90 | 5,27 | 14,67 | 0,90 |
| 6 | 4 | 0,79 | 5,66 | 15,76 | 0,79 |
| 6 | 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 5 | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 1,20 |
| 6 | 5 | 1,34 | 2,61 | 3,72 | 1,34 |
| 6 | 5 | 1,26 | 4,62 | 6,58 | 1,26 |

| | | | | | |
|---|---|------|-------|-------|------|
| 6 | 5 | 1,21 | 6,62 | 9,44 | 1,21 |
| 6 | 5 | 1,16 | 7,43 | 10,58 | 1,16 |
| 6 | 5 | 1,11 | 9,87 | 14,07 | 1,11 |
| 6 | 5 | 1,06 | 11,17 | 15,91 | 1,06 |
| 6 | 5 | 0,99 | 12,33 | 17,57 | 0,99 |
| 6 | 5 | 0,87 | 12,29 | 17,51 | 0,87 |
| 6 | 5 | 0,87 | 13,90 | 19,81 | 0,87 |
| 6 | 5 | 0,60 | 10,41 | 14,83 | 0,60 |
| 6 | 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | |
| 6 | 6 | 1,36 | 0,00 | 0,00 | 1,36 |
| 6 | 6 | 1,30 | 3,84 | 3,17 | 1,30 |
| 6 | 6 | 1,26 | 7,15 | 5,89 | 1,26 |
| 6 | 6 | 1,18 | 10,60 | 8,74 | 1,18 |
| 6 | 6 | 1,13 | 13,58 | 11,20 | 1,13 |
| 6 | 6 | 1,12 | 16,60 | 13,69 | 1,12 |
| 6 | 6 | 1,07 | 18,27 | 15,06 | 1,07 |
| 6 | 6 | 1,05 | 20,97 | 17,29 | 1,05 |
| 6 | 6 | 1,02 | 21,31 | 17,57 | 1,02 |
| 6 | 6 | 1,01 | 22,92 | 18,90 | 1,01 |
| 6 | 6 | 0,98 | 23,03 | 18,99 | 0,98 |
| 6 | 6 | 0,97 | 24,11 | 19,88 | 0,97 |
| 6 | 6 | 0,96 | 23,82 | 19,64 | 0,96 |
| 6 | 6 | 0,95 | 23,70 | 19,54 | 0,95 |
| 6 | 6 | 0,94 | 24,42 | 20,13 | 0,94 |
| 6 | 6 | 0,91 | 24,40 | 20,11 | 0,91 |
| 6 | 6 | 0,88 | 24,73 | 20,39 | 0,88 |
| 6 | 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

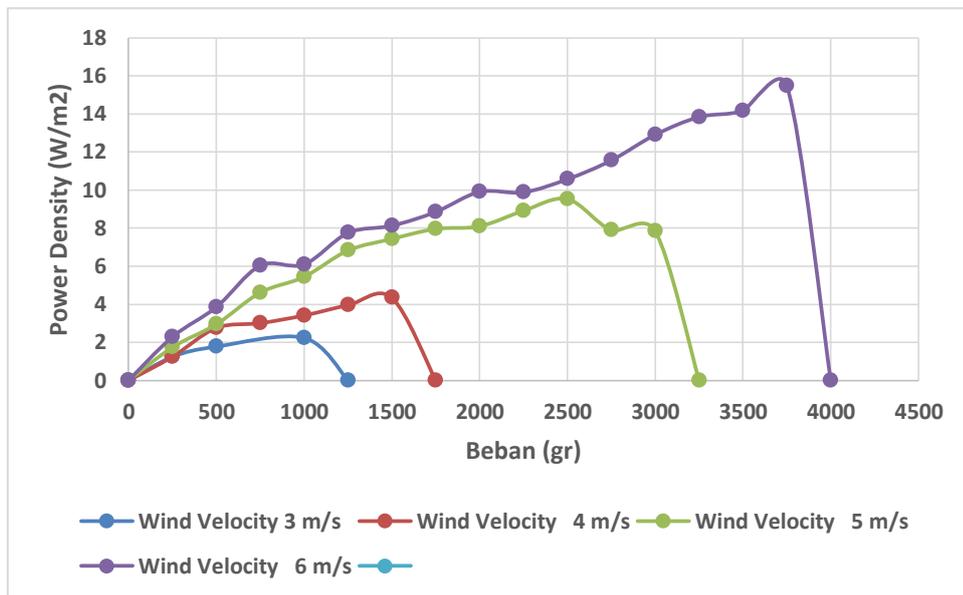
4.3 Pembahasan

4.3.1 Karakteristik model turbin angin terhadap beban yang diujikan

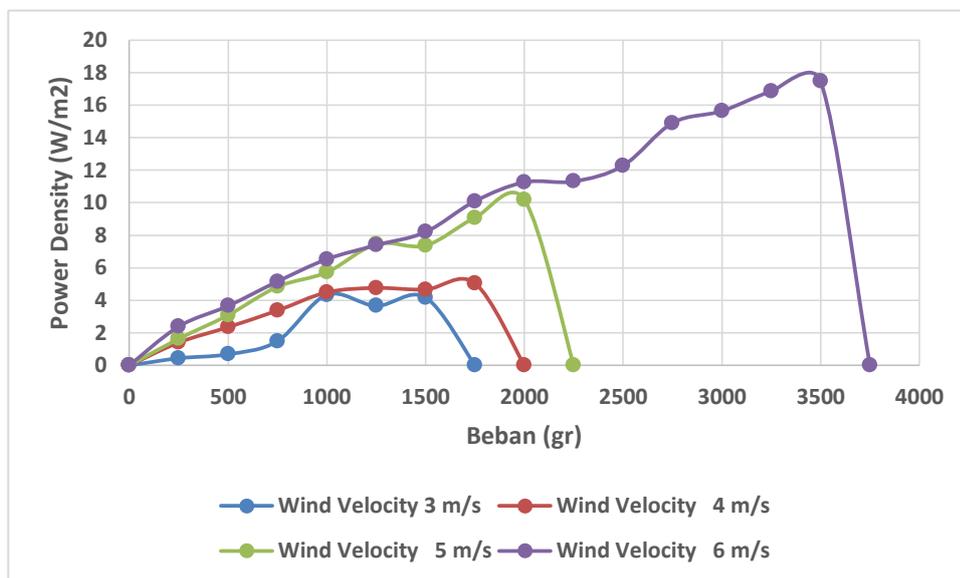
Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap karakteristik daya dan koefisien kinerja yang dihasilkan oleh turbin angin, dengan melakukan perhitungan seperti yang dicontohkan kemudian hasilnya dipaparkan dalam bentuk grafik, maka berikut ini di sajikan karakteristik power density turbin angin tiap-tiap celah berdasarkan kecepatan angin.



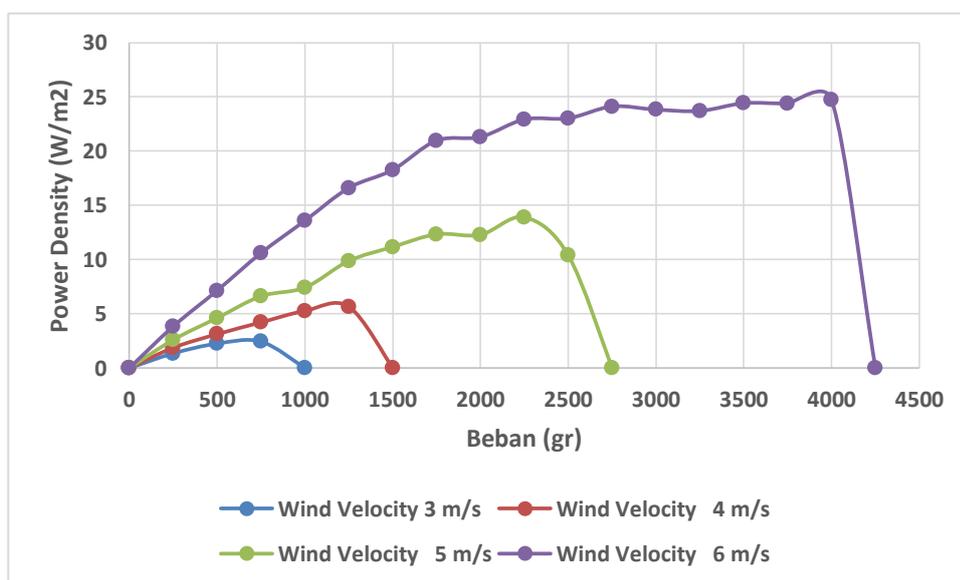
Gambar 13. Distribusi Power Density turbin angin savonius standar atau jarak celah 0 pada berbagai kecepatan angin



Gambar 14. Distribusi Power Density turbin angin savonius standar dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 2 cm pada berbagai kecepatan angin



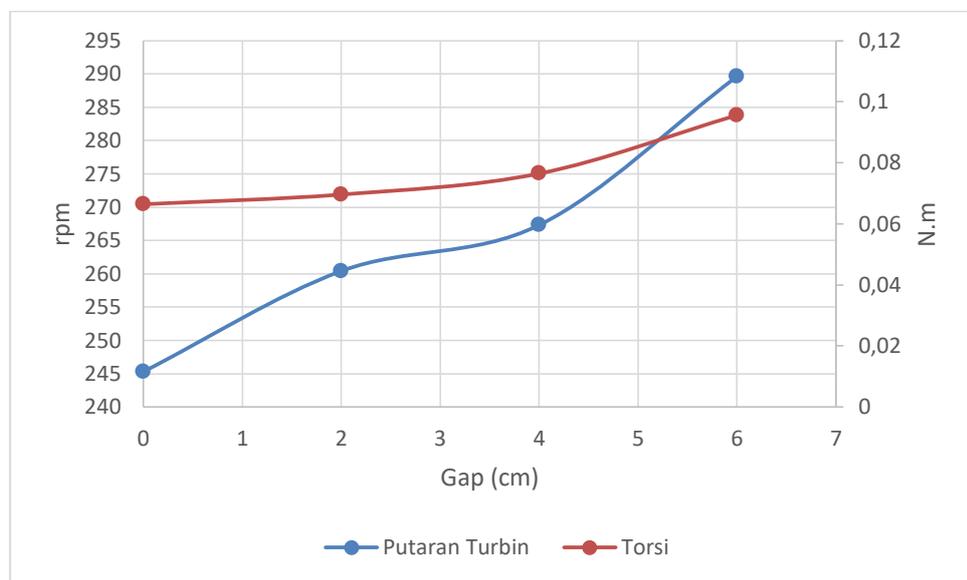
Gambar 15. Distribusi Power Density turbin angin savonius standar dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 4 cm pada berbagai kecepatan angin



Gambar 16. Distribusi Power Density turbin angin savonius standar dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 6 cm pada berbagai kecepatan angin

Kecepatan angin berpengaruh terhadap karakteristik power density dari turbin angin, dari gambar 13 sampai dengan gambar 16 terlihat bahwa seiring bertambahnya kecepatan angin maka power density dari turbin angin bertambah pula untuk semua jarak celah yang diujikan. Selain itu bertambahnya kecepatan angin juga meningkatkan ketahanan turbin angin terhadap beban, hal ini ditandai dengan semakin besar nilai beban yang dicapai agar turbin berhenti berputar.

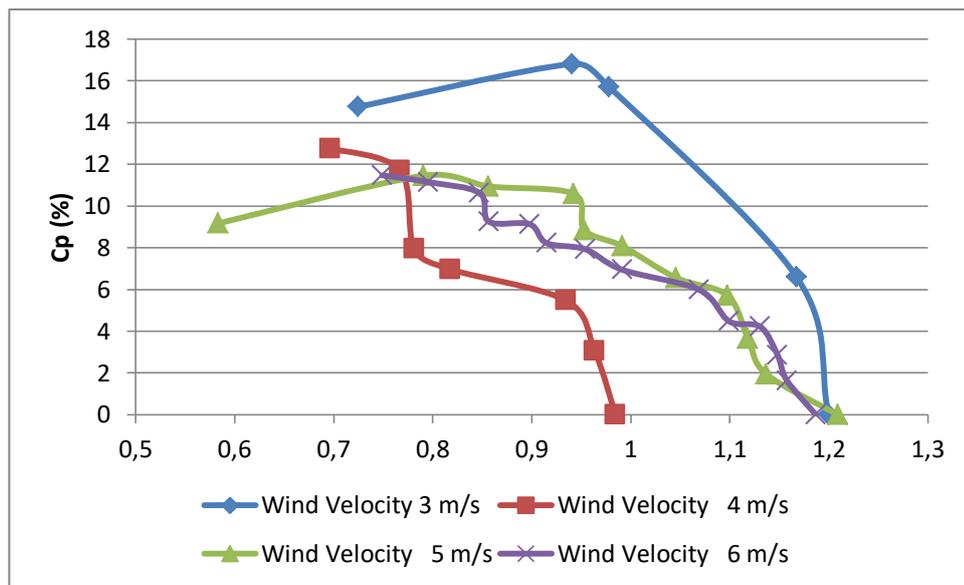
Seiring bertambahnya jarak celah bilah pengganggu ganda, power density yang dihasilkan oleh turbin angin semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin, hal ini di duga jarak celah yang lebar pada kecepatan angin yang tinggi membuat massa udara yang masuk menerpa bilah cekung lebih banyak hal ini ditandai dengan nilai torsi yang dihasilkan semakin meningkat seiring bertambahnya jarak celah. Selain itu bertambah jarak celah aliran udara mengalami akselerasi sehingga mampu memutar turbin lebih cepat lihat gambar 17, kedua hal inilah yang menyebabkan power density yang dihasilkan oleh turbin juga meningkat.



Gambar 17. Distribusi putaran dan torsi pada berbagai jarak celah yang diujikan.

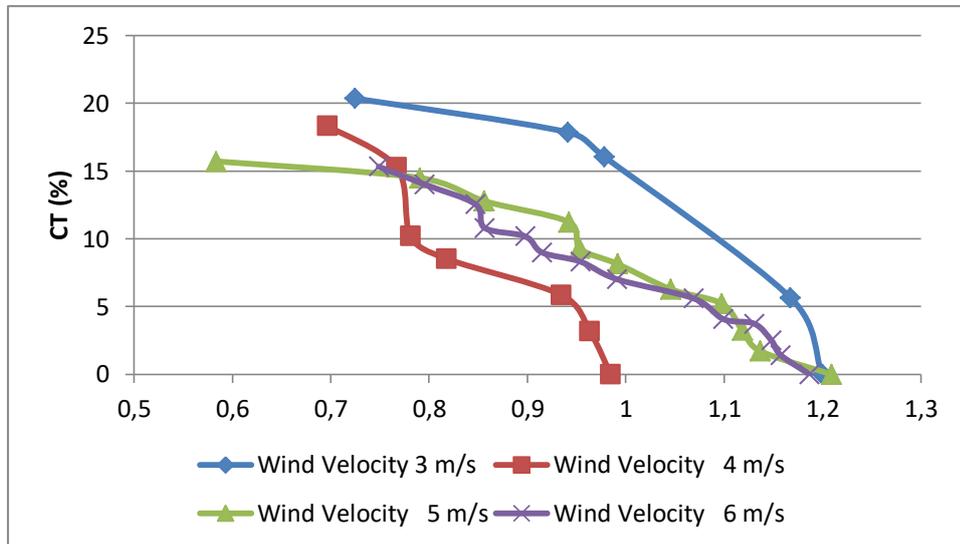
4.3.2 Pengaruh kecepatan angin terhadap koefisien kinerja dan koefisien torsi model turbin angin

Kemampuan turbin angin tanpa bilah pengganggu ganda mengkonversi daya angin menjadi daya turbin yang di representasikan dengan koefisien kinerja turbin angin cenderung menurun seiring bertambahnya kecepatan angin terlihat gambar 18. Hal ini di duga seiring naiknya kecepatan angin, maka daya hambat pada bilah cembung atau *returning blade* juga meningkat untuk model turbin angin tanpa bilah pengganggu ganda. Nilai koefisien turbin angin tertinggi pada kondisi ini pada kecepatan angin 3 m/s sebesar 16,8 % yang terjadi pada tip speed ratio 0,94.

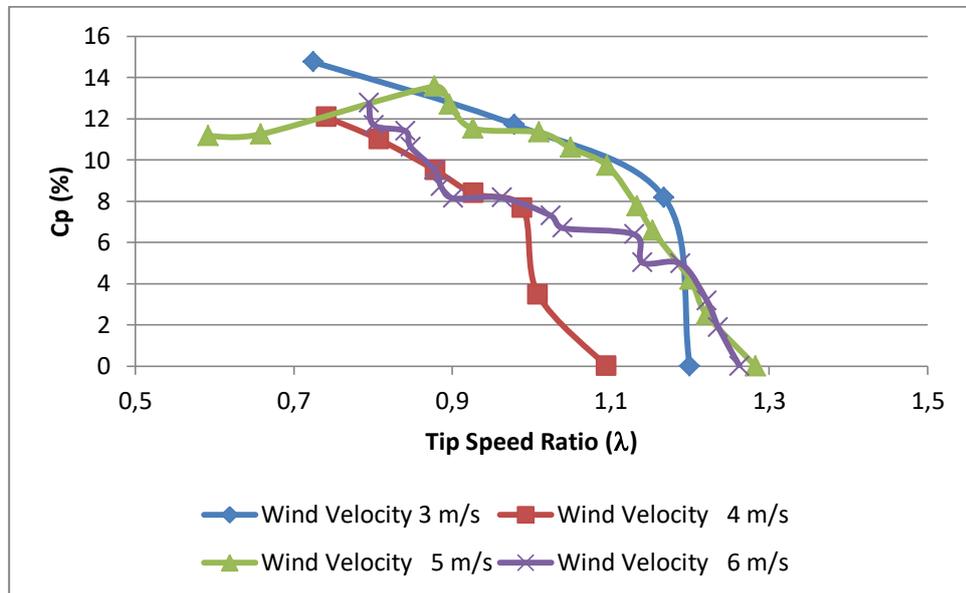


Gambar 18. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa bilah pengganggu ganda pada berbagai kecepatan angin yang diujikan

Demikian pula untuk koefisien torsi pada model turbin tanpa bilah pengganggu ganda menurun seiring peningkatan kecepatan angin (lihat gambar 19), hal ini mengkonfirmasi bahwa kemampuan model turbin angin tanpa bilah pengganggu ganda mengekstrak energi angin menurun sehingga koefisien kinerja turbin angin juga menurun.

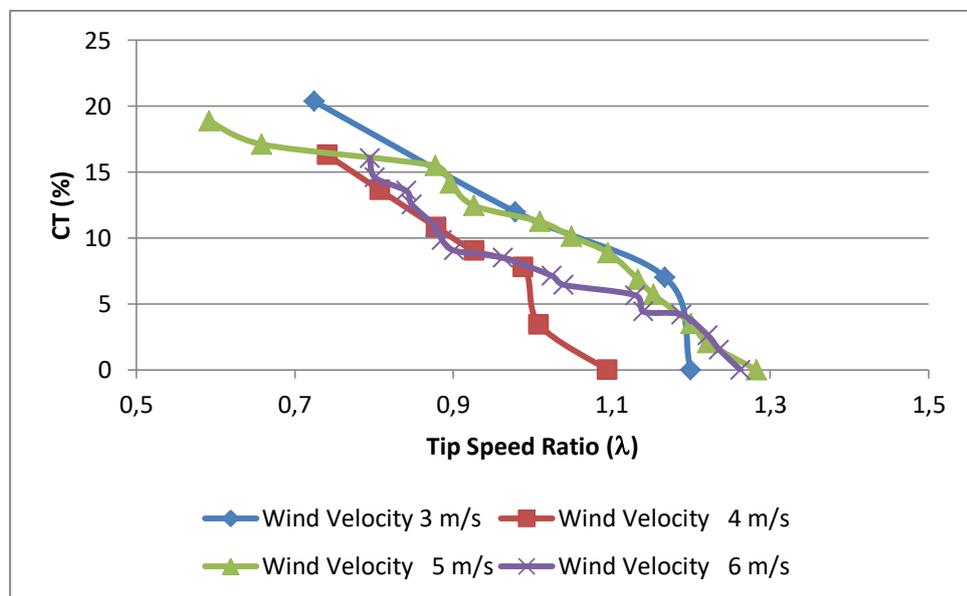


Gambar 19. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa bilah pengganggu ganda pada berbagai kecepatan angin yang diujikan



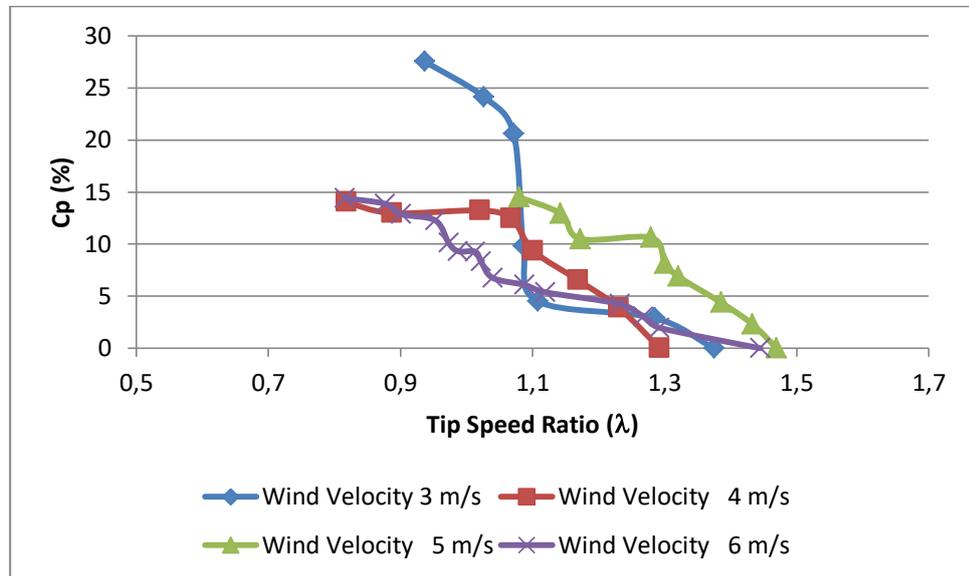
Gambar 20. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 2 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan

Untuk turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 2 cm atau celah sempit (gambar 20 dan 21) perilaku aliran angin yang menerpa bilah hampir sama dengan model turbin angin tanpa bilah pengganggu ganda dimana kinerja turbin menurun seiring dengan kenaikan kecepatan angin dengan kinerja turbin lebih baik pada kecepatan angin lebih dari 3 m/s jika dibandingkan turbin angin savonius tanpa bilah pengganggu ganda. Begitupula halnya pada nilai koefisien torsi pada kondisi ini

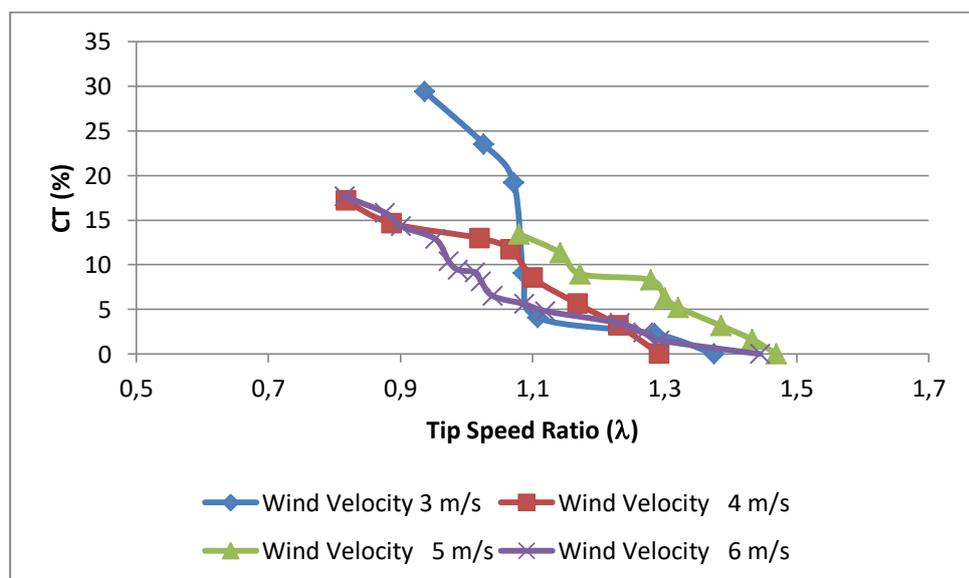


Gambar 21. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 2 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan

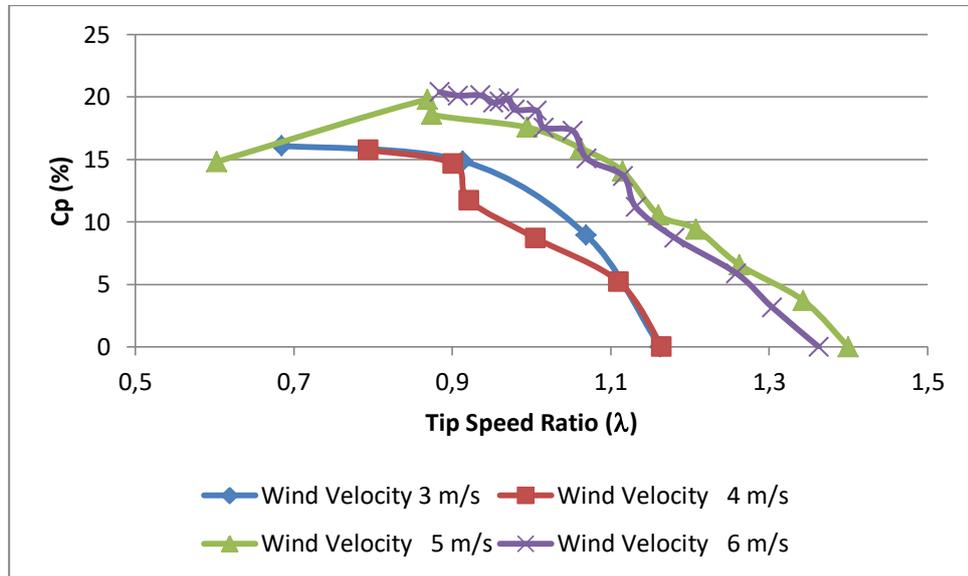
Gambar 22 sampai gambar gambar 25 menunjukkan bahwa semakin bertambah jarak celah maka semakin banyak aliran udara yang masuk diantara celah yang mengakibatkan daya dorong pada bilah semakin besar selain ini keberadaan celah juga mampu meningkatkan kecepatan aliran melintasi permukaan bilah, kedua fenomena ini terkonfirmasi dengan meningkatkannya nilai tip speed ratio turbin angin pada jarak celah 4 dan 6 cm.



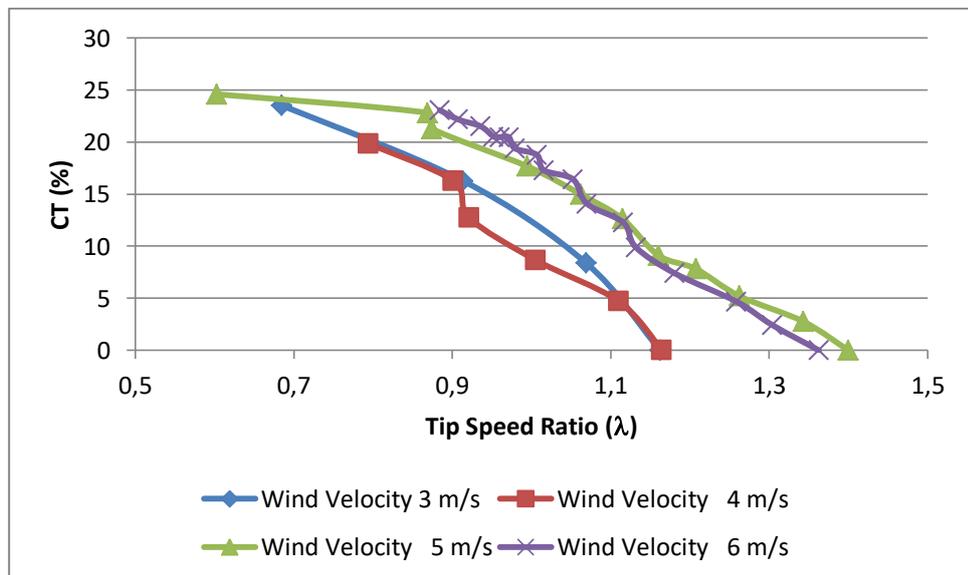
Gambar 22. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 4 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan



Gambar 23. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 4 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan

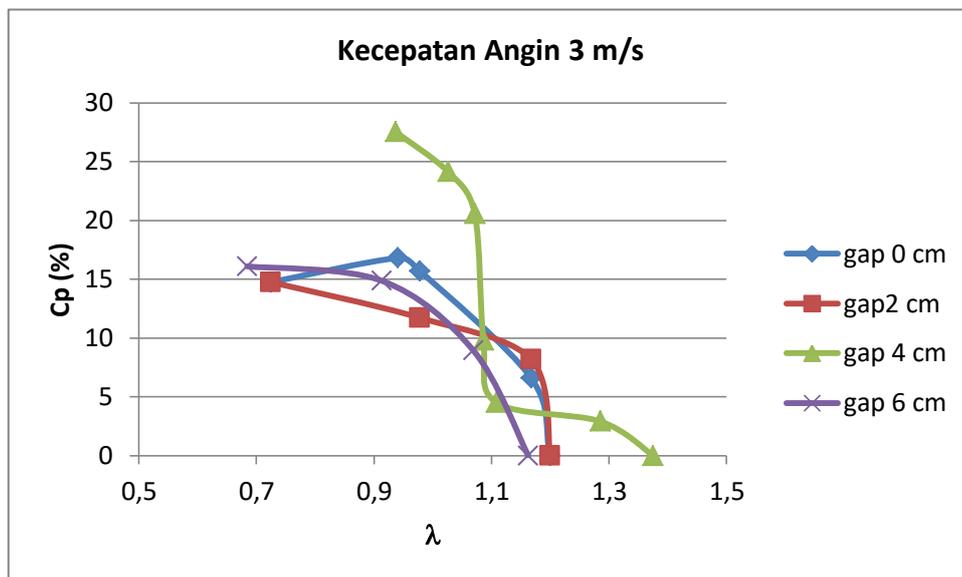


Gambar 24. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 6 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan

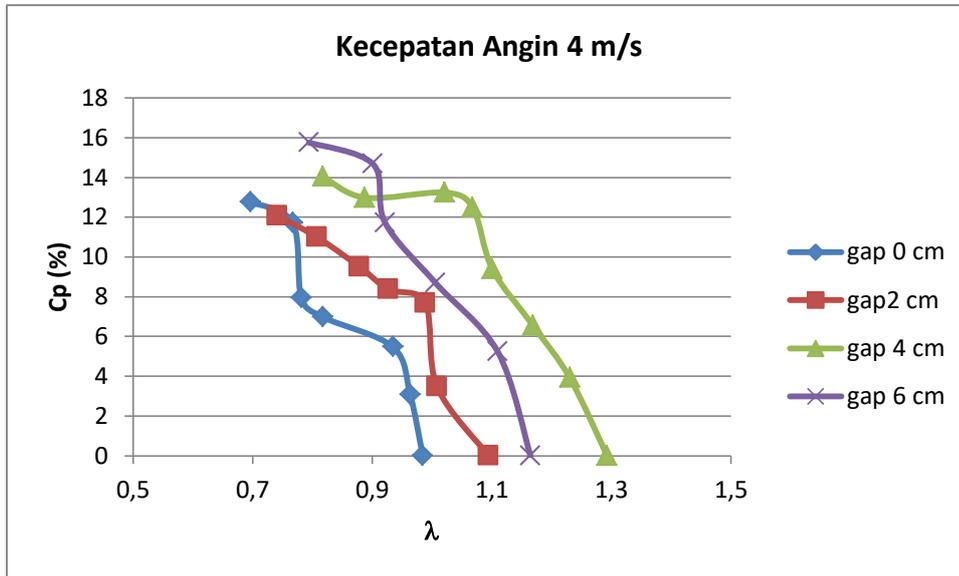


Gambar 25. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius dengan bilah pengganggu ganda jarak celah 6 cm pada berbagai kecepatan angin yang diujikan

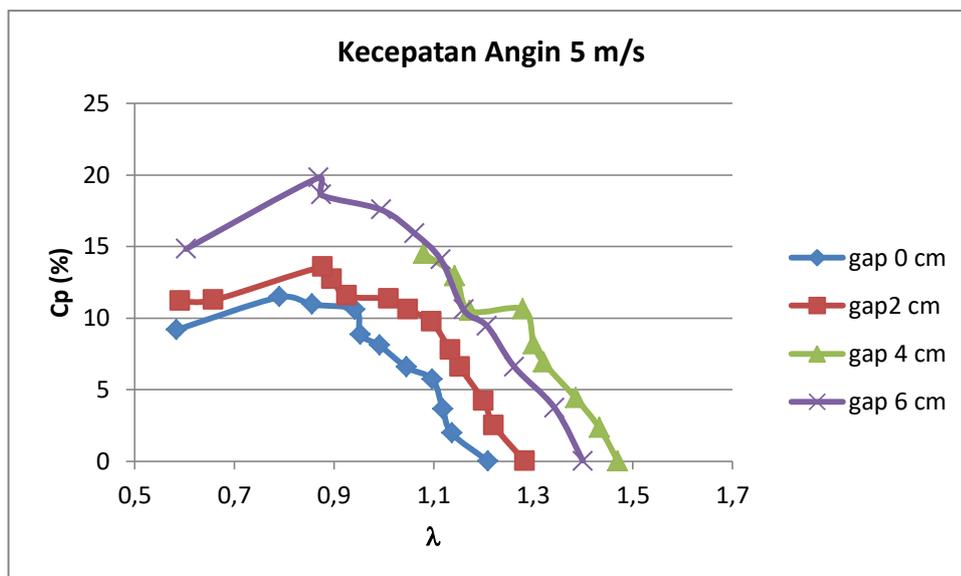
Dari gambar 26 sampai dengan 29 terlihat bahwa keberadaan bilah pengganggu ganda didepan bilah utama menyebabkan terganggunya arah aliran sehingga turbin bertransformasi dari bilah yang bergerak berdasarkan dominasi gaya drag menjadi bilah yang bergerak akibat dominasi gaya lift yang tercipta akibat keberadaan bilah pengganggu ganda tersebut hal ini ditandai dengan nilai tip speed ratio (λ) yang lebih besar dari satu. Selain keberadaan bilah pengganggu ganda didepan bilah utama menyebabkan terjadinya akselerasi aliran, namun untuk celah sempit, massa yang masuk ke daerah antar celah terhambat, sehingga kemampuan turbin untuk mengekstraksi energi angin lebih kecil daripada jarak celah yang lebih lebar hal ini ditandai dengan nilai koefisien kinerja turbin yang lebih kecil pada jarak celah sempit daripada jarak celah yang lebih lebar.



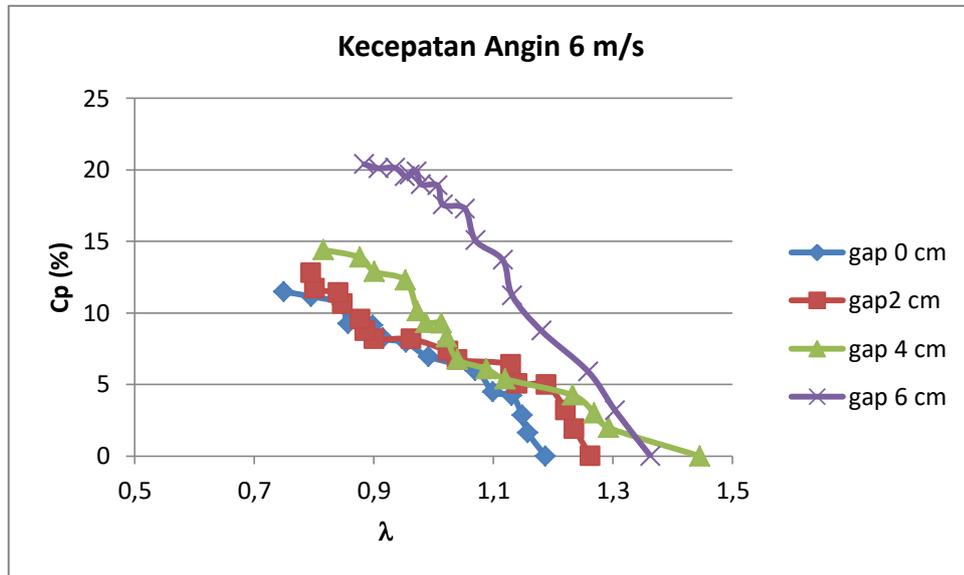
Gambar 26. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 3 m/s



Gambar 27. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 4 m/s

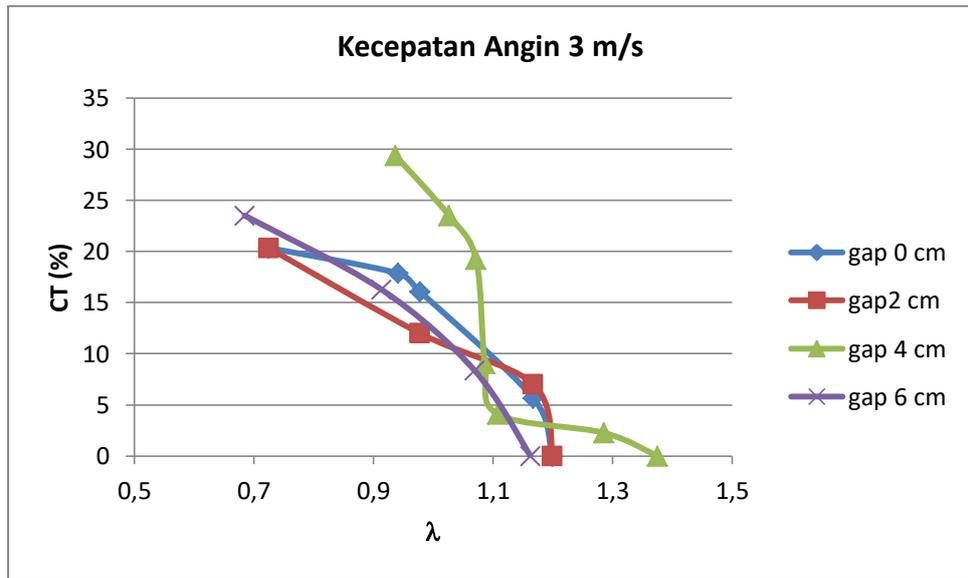


Gambar 28. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 5 m/s

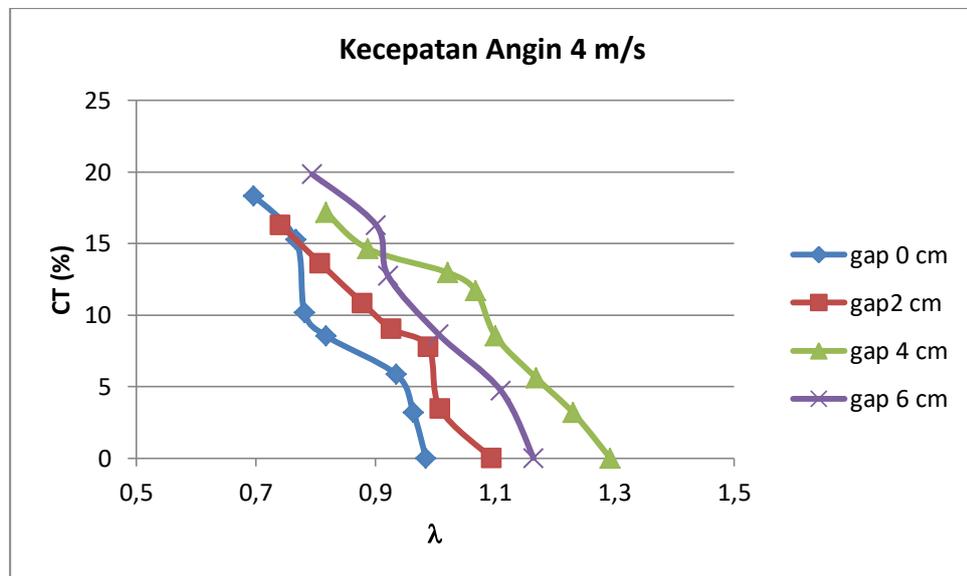


Gambar 29. Distribusi Koefisien kinerja turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 6 m/s

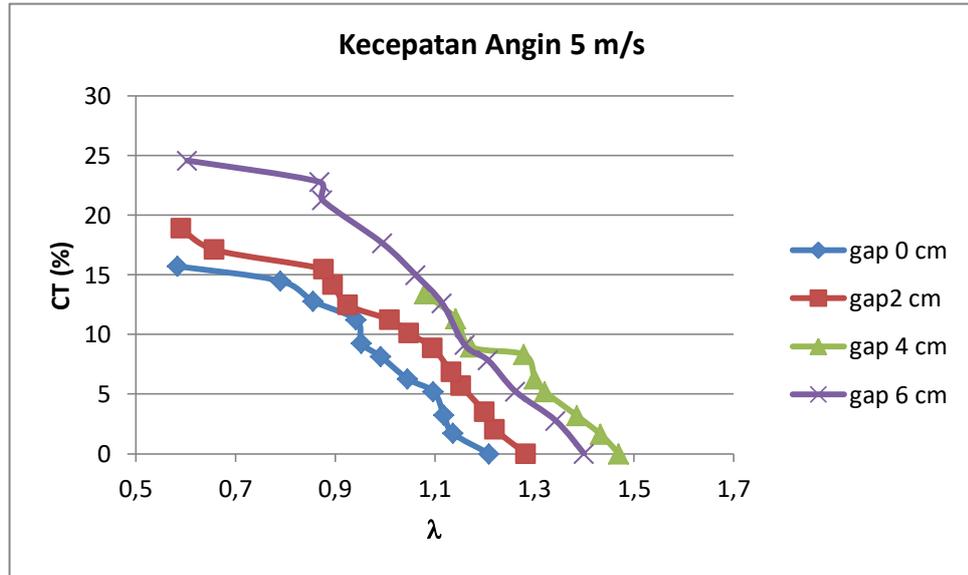
Dari gambar 30 sampai dengan 33 terlihat bahwa pada kecepatan angin hingga 4 m/s jarak celah 4 cm menghasilkan torsi yang paling besar, hal ini menunjukkan pada rentang kecepatan ini jarak celah 4 cm banyak massa udara yang mengalir diantara celah sehingga mampu mendorong turbin lebih besar hal ini diindikasikan dengan nilai koefisien torsi yang besar sebaliknya pada kecepatan yang lebih tinggi dengan jarak celah 4 cm tidak cukup memberikan ruang udara mengalir diantara celah. /namun untuk jarak celah yang lebih lebar yaitu pada jarak 6 cm memberikan ruang yang cukup agar udara dapat mengalir diantar celah pada kondisi ini jarak celah 6 cm mampu memutar turbin lebih besar yg terkonfirmasi dengan nilai koefisien torsi pada jarak ini besar.



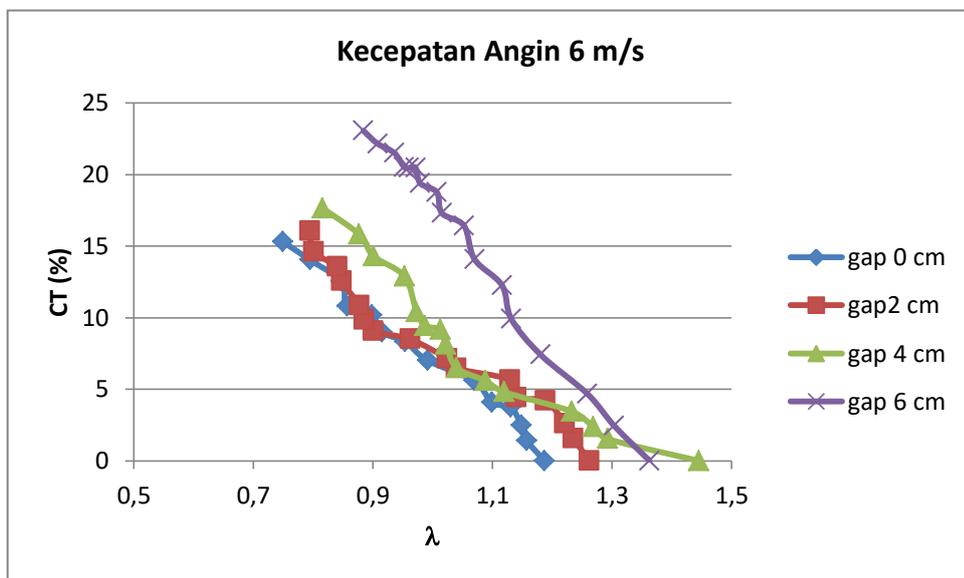
Gambar 30. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 3 m/s



Gambar 31. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 4 m/s



Gambar 32. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 5 m/s



Gambar 33. Distribusi Koefisien torsi turbin angin savonius tanpa dan dengan bilah pengganggu ganda pada kecepatan 6 m/s

BAB 5

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Pada penelitian tahun kedua ini masih terlihat terjadi peningkatan kemampuan model turbin angin untuk mengekstrak energi dari aliran udara yang menerpa bilah yang ditandai terjadi kenaikan nilai koefisien kinerja turbin pada kecepatan angin yang sama. Keberadaan bilah pengganggu ganda selain merubah arah aliran juga meningkatkan gaya lift dari model turbin angin pada tahun kedua ini sehingga peningkatan gaya lift secara otomatis juga meningkatkan gaya total yang berkerja pada bilah sehingga hal inilah yang menyebabkan terjadi peningkatan kemampuan model turbin angin untuk mengekstrak energi dari aliran udara yang menerpa bilah. Efisiensi model turbin angin pada tahun kedua pada kecepatan angin yang tinggi 6 m/s dimana model tahun kedua sudah mampu mengkonversi 20,39 % dibandingkan model pada tahun pertama sebesar 15,78 %. Oleh karena itu pada tahun ketiga peneliti memiliki rencana untuk mendesain alat tambahan yang berfungsi mempercepat aliran angin yang menerpa bilah turbin angin yang kami sebut *wind accelerator* hal ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja yang dihasilkan model turbin angin dan menurunkan kecepatan start up tanpa beban atau dengan kata lain meningkatkan kemampuan model turbin angin untuk melakukan *self starter*. Rencananya kedua model tersebut di uji dengan tambahan *wind accelerator*, dimana hasil keduanya dibandingkan model mana yang menghasilkan kinerja yang terbaik.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian model turbin angin dengan bilah pengganggu ganda dengan variasi jarak celah antar bilah utama dengan bilah pengganggu ganda pada rentang kecepatan angin 3 s.d 6 m/s diterowongan angin jenis *subsonic open wind tunnel* dapat ditarik beberapa kesimpulan.

1. Seiring bertambahnya bukaan sudut *fix drag reduction*, maka kinerja model turbin angin menurun disemua kecepatan angin yang diujikan.
2. Bukaan sudut *fix drag reduction* sebesar 15^0 mampu meningkatkan kinerja model turbin angin disemua kecepatan angin yang diujikan. Peningkatan ini semakin nyata pada kecepatan angin yan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, Kompatibilitas dengan karakteristik angin di Indonesia, <http://www.alpensteel.com/article/53-101-energi-terbarukan--renewable-energi/3588--kompatibilitas-dengan-arah-angin-yang-sering-berubah-ubah.html>, diakses 18 Juni 2016.
2. Altan, B. D., Atilgan, M., 2010, The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors, *Renewable Energi* 35 (2010) 821–829.
3. Anonim, General Review, http://www.bi.go.id/en/publikasi/laporan-tahunan/perekonomian/Documents/General_Review.pdf, diakses 18 Juni 2016.
4. Akwa JV, Vielmo HA, and Petry AP, 2012, A review on the performance of Savonius wind turbines, *Renewable and Sustainable Energi Reviews*, Vol. 16, No. 5, pp. 3054–3064.
5. Fitranda, Robby Ilham., Siregar, Indra Herlamba., 2014, KARAKTERISTIK TURBIN ANGIN SAVONIUS 2 DAN 3 BLADE DENGAN MENGGUNAKAN BANTUAN GUIDE VANE, *Jurnal Teknik Mesin* Vol 2, No 02. 125-131.
6. Kamoji, M., Kedare, S., Prabhu, S., 2009, Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor, *Applied Energi* 86, 1064–1073.
7. Kamoji, M., Kedare, S., Prabhu, S., 2008, Experimental investigations on Two and Three stage modified Savonius rotor, *International Journal of Energy Research*, No.32, 877–895.
8. Jian, C., Chen, L., Nie, L., Xu, H., Mo, Y., 2016, Experimental study of two- stage Savonius rotors with different gap ratios and phase shift angles, *Journal of Renewable and Sustainable*, Vol.8, 063302-1-063302-16.
9. Kumbornuss, J., Chen, J., Yang, H., Lu, L., 2012, Investigation into the relationship of the overlap ratio and shift angle of double stage three bladed vertikal axis wind turbine (VAWT), *Journal Wind Engineering and Industrial. Aerodynamics* 107–108 (2012) 57–75.
10. Irbabu, K., Roy, J., 2007, Characteristics of wind power on Savonius rotor using a guide-box tunnel *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (2007) 580–586.
11. Pusdatin ESDM, 2011, *Indonesia Energi Outlook 2010 ey Indicator of Indonesia Energi and Mineral Resources.(Online)* (www.esdm.go.id/publikasi/statistik/doc_download/487-key-indicator-of-indonesia-energi-and-mineral-resources.html, diakses pada tanggal 30 Januari 2013).
12. Ronit K. Singh, M. Rafiuddin Ahmed, 2013, Blade design and performance testing of a small wind turbine rotor for low wind speed applications Original Research Article *Renewable Energi, Volume 50, February 2013, Pages 812- 819*.
13. Siregar, Indra Herlamba., 2013, Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H Dua Tingkat Dengan Bilah Profile Modified NACA 0018 Dengan Dan Tanpa *Wind Deflector*, *Jurnal Teknik Mesin Otopro* Vol 8. No.2, 126-138.

14. Siregar, Indra Herlamba., Ansori, Aris., 2017, Karakteristik Model Turbin Angin Sumbu Vertikal Dua Tingkat Darrieus Tipe-H dengan Bilah Hibrid Profil Modified NACA 0018 dan Kurva S, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder Vol 3. No.1, 33-39.
15. Siregar, Indra Herlamba., Ansori, Aris., 2016, Performance of Combined Vertical Axis Wind Turbine blade between airfoil NACA 0018 with Curve Blade with and without Guide vane, International Journal of Scientific and Engineering Research Vol 7.,No.8, 863-867.
16. Siregar, Indra Herlamba., 2014, Karakteristik Aerodinamis Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal Untuk Pembangkit Listrik Skala Rumah Tangga Pada Sudut Pitch Besar, Jurnal Teknik Mesin Otopro Vol 10. No.1, 126-138.
17. Siregar, Indra Herlamba., 2017, Kinerja Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal Savonius dua tingkat denan phase 90^0 Untuk Pembangkit Listrik Skala Rumah Tangga, Laporan Penelitian Swadana.
18. Thomas R. Anderson, Ed Hawkins, and Philip D. Jones, 2016, CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models, Endeavour Volume 40, Issue 3, Pages 178-187.
19. WWEA, 2011, The World Wind Energi Report 2011. (Online) (<http://www.wwindea.org/webimages/WorldWindEnergiReport2011.pdf>, diakses pada tanggal 5 Februari 2013).
20. **Yudha Pratomo, 2012**, Indonesia Pun Bisa Memanen Energi Angin. (Online) (<http://www.hijauku.com/2012/04/10/indonesia-pun-bisa-memanen-angin/> dikases 2 Feruari 2013)



UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

**KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
Nomor 507/UN38/HK/LT/2019**

TENTANG

**PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN MULTI TAHUN DANA DIREKTORAT RISET DAN
PENGABDIAN MASYARAKAT (DRPM) TAHUN 2019**

REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA,

- Menimbang :
- a. bahwa untuk memperlancar pelaksanaan kegiatan Penelitian Multi Tahun Dana Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Tahun 2019, maka perlu dilakukan penetapan;
 - b. bahwa berdasarkan pertimbangan tersebut pada butir a di atas maka dipandang perlu menerbitkan keputusan ini;
- Mengingat :
- 1. Undang-Undang RI Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
 - 2. Undang-Undang RI Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan;
 - 3. Undang-Undang RI Nomor 12 tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
 - 4. Undang-Undang RI Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara;
 - 5. Peraturan Pemerintah Nomor 9 Tahun 2003 tentang Wewenang Pengangkatan, Pemindahan, dan Pemberhentian Pegawai Negeri Sipil;
 - 6. Peraturan Pemerintah RI Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
 - 7. Keputusan Presiden RI Nomor 93 tahun 1999 tentang Perubahan IKIP menjadi Universitas;
 - 8. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 92/PMK.05/2011 tentang Rencana Bisnis dan Anggaran Serta Pelaksanaan Anggaran Badan Layanan Umum;
 - 9. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 15 Tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Negeri Surabaya;
 - 10. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 98 Tahun 2016, tentang Pemberian Kuasa dan Delegasi Wewenang Pelaksanaan Kegiatan Administrasi Kepegawaian Kepada Pejabat tertentu di lingkungan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;

11. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 79 Tahun 2017 tentang Statuta Universitas Negeri Surabaya;
12. Keputusan Menteri Keuangan RI Nomor 50/KMK.05/2009 tentang Penetapan Universitas Negeri Surabaya Pada Departemen Pendidikan Nasional sebagai Instansi Pemerintah yang menerapkan Pengelolaan Keuangan Badan Layanan Umum;
13. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 461/M/KPT.KP/2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Negeri Surabaya Periode Tahun 2018-2022;

MEMUTUSKAN :

- Menetapkan : KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TENTANG PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN MULTI TAHUN DANA DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT (DRPM) TAHUN 2019;
- KESATU : Dalam melaksanakan tugasnya sebagai Penerima Penelitian Multi Tahun Dana Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Tahun 2019, wajib berpedoman pada ketentuan yang berlaku, dan secara tertulis memberikan laporan kepada Rektor Universitas Negeri Surabaya;
- KEDUA : Kegiatan Penerima Penelitian Multi Tahun Dana Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Tahun 2019;
- KETIGA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal 29 Maret 2019 sampai dengan 31 Nopember 2019 dengan ketentuan bahwa segala sesuatunya akan ditinjau dan diubah sebagaimana mestinya apabila ternyata di kemudian hari terdapat kekeliruan dalam penetapan ini;

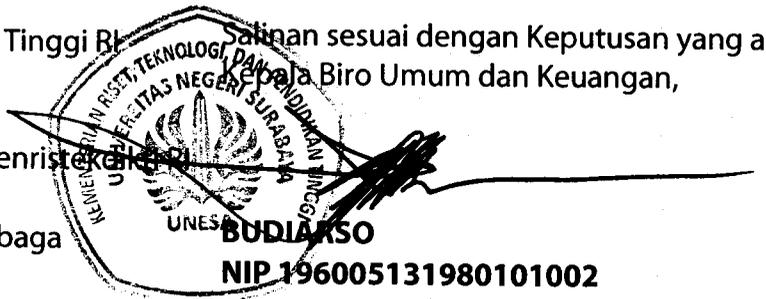
Ditetapkan di : Surabaya
 Pada tanggal : 29 Maret 2019
 Rektor,

ttd

NURHASAN
NIP 196304291990021001

Salinan disampaikan kepada Yth :

1. Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI
2. Sekretaris Jenderal Kemenristekdikti RI
3. Inspektur Jenderal Kemenristekdikti RI
4. Dirjen Sumber Daya Iptek dan Dikti Kemenristekdikti RI
5. Para Wakil Rektor Unesa
6. Para Dekan, Dir. Pascasarjana, Ketua Lembaga
7. Kepala Biro Selingkung Unesa

Salinan sesuai dengan Keputusan yang asli.
 Kepala Biro Umum dan Keuangan,

BUDI ARSO
NIP 196005131980101002

DAFTAR PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN MULTI TAHUN DANA DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT (DRPM) TAHUN 2019

| No. | Fak. | Jurusan | Judul | Bidang Fokus | Tim Peneliti | NIDN | Gol. | Pend. | L/P | Dana 2019 Rp. | Dana Tambahan 2019 Rp. | Jenis Penelitian |
|-----|-------|------------|---|--|--|--|------------------------|-------------------|-------------|------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | FMIPA | Fisika | Metode Baru untuk Mengukur Parameter Tsunami secara Cepat dan Akurat | Kebencanaan | Prof. Dr. Madlazim, M.Si. Tjipto Prastowo, Ph.D. | 0005116510 0003026702 | IV/d IV/a | S-3 S-3 | L L | 55.275.000 | 15.000.000 | Dasar Lanjutan |
| 2 | FMIPA | Matematika | Deteksi Dini Pervasive Developmental Disorder Menggunakan Sistem Terintegrasi Eyetracking dan Brain Computer Interface | Teknologi Informasi dan Komunikasi | Dr. Elly Matul Imah, M.Kom. Endah Rahmawati, S.T., M.Si. Fitriya | 0005048201 0016097902 | III/d III/d | S-3 S-2 | P P | 145.585.000 | - | Terapan |
| 3 | FMIPA | Kimia | PABRIKASI OBAT NANOGOLD-NANOSILVER UNTUK Mendukung Pengembangan Bahan Baku Obat Dalam Negeri | Kesehatan dan Obat | Prof. Dr. Titik Taufikurohmah, S.Si., M.Si. Rusmini, S.Pd., M.Si. Prof. Dr. Djodjok Soepardjo, M.Litt. | 0013046805 0012067905 0016095804 | IV/b IV/a IV/d | S-3 S-2 S-3 | P P L | 943.000.000 | - | Pengembangan |
| 4 | FMIPA | Matematika | PENGEMBANGAN MODEL REVERSIBLE PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERPIKIR REVERSIBLE MAHASISWA CALON GURU MATEMATIKA | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Prof. Dr. Dwi Juniati, M.Si. Dr. SYARIFATUL MAFULAH M.Pd | 0015066704 | IV/d | S-3 | P | 244.282.000 | - | Pasca Doktor |
| 5 | FMIPA | Matematika | Analisis Matematis Model Penyebaran Penyakit Campak Rubella (Measles Rubella) | Kesehatan dan Obat | Dr. Abadi, M.Sc. Rudianto Artiono, S.Pd., M.Si. Budi Priyo Prawoto, S.Pd., M.Si. | 0030086501 0011028202 0017048502 | IV/a III/d III/c | S-3 S-2 S-2 | L L L | 113.407.500 | - | Dasar |
| 6 | FMIPA | Matematika | APLIKASI TEORI KATASTROF DALAM ANALISIS KERJA KOGNISI DAN MENTAL UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA MATEMATIKA | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Prof. Dr. Dwi Juniati, M.Si. Prof. Drs. I Ketut Budayasa, Ph.D. | 0015066704 0004125703 | IV/d IV/e | S-3 S-3 | P L | 266.382.000 | - | Dasar |
| 7 | FBS | Desain | Desain Poster Film Era Tahun 70 hingga 80 an | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Desk Study Dalam Negeri | Asidigisianti Surya Patria, S.T., M.Pd. Nova Kristiana, S.Sn., M.Sn. Hendro Aryanto, S.Sn., M.Si. | 0019077703 0007118204 0013027507 | III/d II/b III/c | S-2 S-2 S-2 | P P L | 77.042.500 | - | Dasar |

| No. | Fak. | Jurusan | Judul | Bidang Fokus | Tim Peneliti | NIDN | Gol. | Pend. | L/P | Dana 2019 Rp. | Dana Tambahan 2019 Rp. | Jenis Penelitian |
|-----|-------|--|---|---|---|--|-------------------------|-------------------|-------------|---------------|------------------------|------------------|
| 8 | FT | Teknik Sipil | Geopolimer Paving Stone Berbahan Dasar Abu Terbang dan Lumpur Lapindo Sebagai Produk Inovatif Bahan Bangunan Ramah Lingkungan | Material Maju | Arie Wardhono, S.T., M.MT., M.T., Ph.D. Yogie Risdianto, S.T., M.T. Mochamad Firmansyah Sofianto, S.T., M.Sc., M.T. | 0006047303 0019077503 0029078704 | III/d III/d III/b | S-3 S-2 S-2 | L L L | 83.880.000 | - | Dasar |
| 9 | FISH | Pendidikan Moral Pancasila dan Kewarganegaraan | MODEL REVITALISASI WAWASAN KEAGAMAAN DAN WAWASAN KEBANGSAAN DOSEN PENDIDIKAN AGAMA ISLAM (PAI) DI JAWA TIMUR SEBAGAI UPAYA MENCEGAH RADIKALISME | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Dr. Muhammad Turhan Yani, M.A. Dr. Harmanto, S.Pd., M.Pd. | 0001037704 0001047104 | IV/b IV/a | S-3 S-3 | L L | 100.725.000 | - | Dasar |
| 10 | FMIPA | Fisika | Nanokomposite Grafen (rGO/Fe3O4-SiO2) sebagai Kandidat Material Filter pada Proses Desalinasi Air Laut | Material Maju | Dr. Munasir, S.Si., M.Si. Diah Hari Kusumawati, S.Si., M.Si. | 0017116901 0018047302 | IV/b III/c | S-3 S-2 | L P | 124.182.850 | 15.000.000 | Dasar |
| 11 | FMIPA | Kimia | Optimasi sintesis biomaterial kitosan/kolagen/hidroksiapatit dari tulang sapi sebagai pensusbuti jaringan tulang | Material Maju | Prof. Dr. Sari Edi Cahyaningrum, M.Si. Dr. Nuniek Herdyastuti, M.Si. | 0029127002 0010117004 | IV/c IV/b | S-3 S-3 | P P | 148.980.000 | - | Dasar |
| 12 | FMIPA | Fisika | Pemetaan dan Evaluasi Laboratorium Fisika SMA di Jawa Timur dalam upaya Pencapaian Kompetensi Dasar (KD) Keterampilan Kurikulum 2013 melalui "Photovoice" | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Menengah) | Nadi Suprpto, S.Pd., M.Pd., Ph.D. Dr. Titin Sunarti, M.Si. Dra. Suliyannah, M.Si. | 0012068102 0027116303 0006126108 | III/d IV/b IV/b | S-3 S-3 S-2 | L P P | 312.490.000 | - | Dasar |
| 13 | FMIPA | Fisika | Pengembangan Kemampuan Menyelesaikan Berbagai Masalah Kebumihan Melalui Rekonstruksi Desain Pembelajaran Geosains yang Sustainable | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Dr. Eko Hariyono, S.Pd., M.Pd. Prof. Dr. Madlazim, M.Si. | 0013107403 0005116510 | IV/a IV/d | S-3 S-3 | L L | 70.335.000 | - | Dasar |
| 14 | FIP | Pendidikan Luar Sekolah | PROBLEMATIKA DAN ASPEK POTENSIAL PEKERJA SEKTOR INFORMAL DALAM AKTIVITAS LEARNING SOCIETY DI KAMPUNG INGGRIS PARE KEDIRI | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Desk Study Dalam Negeri | Dr. Wiwin Yulianingsih, S.Pd., M.Pd. Dr. Gunarti Dwi Lestari, M.Si. Utari Dewi, S.Sn., M.Pd. | 0027077909 0012076109 0017087903 | III/d IV/c III/c | S-3 S-3 S-2 | P P P | 103.810.000 | - | Dasar |

| No. | Fak. | Jurusan | Judul | Bidang Fokus | Tim Peneliti | NIDN | Gol. | Pend. | L/P | Dana 2019 Rp. | Dana Tambahan 2019 Rp. | Jenis Penelitian |
|-----|-------|--|--|---|---|--|--------------------------------|--------------------------|------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|
| 15 | FMIPA | Biologi | Implementasi Bioinsektisida Mikroba Dan Nabati Dalam Formula Foto-Protektan Untuk Mewujudkan Agroekosistem Berkelanjutan | Pangan dan Pertanian | Dr. Mahanani Tri Asri, M.Si. Dr. Yuliani, M.Si. Dr. Tarzan Purnomo, M.Si. | 0024076703 0021076801 0005056503 | IV/b IV/c IV/a | S-3 S-3 S-3 | P P L | 115.698.000 | 15.000.000 | Terapan Lanjutan |
| 16 | FE | Manajemen | MODEL TRANSFORMASI IPTEK DALAM SPESIALISASI KERJA & KERJASAMA UNTUK PENGUATAN UMKM INDUSTRI HIJAB BERKEARIFAN LOKAL DI KABUPATEN GRESIK | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Dr. Jun Surjanti, S.E., M.Si. Prof. Drs. Yoyok Soesatyo, S.H., M.M., Ph.D. Sanaji, S.E., M.Si. Setya Chendra Wibawa, S.Pd., M.T. | 0012066704 0016124903 0015047111 0008057908 | IV/c IV/e III/b III/b | S-3 S-3 S-2 S-2 | P L L L | 202.150.000 | 15.000.000 | Terapan Lanjutan |
| 17 | FISH | Pendidikan Moral Pancasila dan Kewarganegaraan | PENGEMBANGAN MODEL PEMBELAJARAN PENDIDIKAN KEWARGANEGARAAN (PKn) BERBASIS PENDIDIKAN MULTIKULTUR UNTUK MEMBANGUN JATI DIRI KEINDONESIAAN BAGI GENERASI MUDA DI SURABAYA JAWA TIMUR | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Menengah) | Dr. Raden Roro Nanik Setyawati, M.Si. Prof. Dr. Sarmini, M.Hum. | 0025086704 0008086803 | IV/c IV/d | S-3 S-3 | P P | 199.392.500 | 15.000.000 | Terapan Lanjutan |
| 18 | FMIPA | Matematika | Pengembangan Model Profesional Guru SMP untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif dan Literasi Matematika Siswa | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Dr. Tatag Yuli Eko Siswono, S.Pd., M.Pd. Dr. Pradnyo Wijayanti, M.Pd. Abdul Haris Rosyidi, S.Pd., M.Pd. | 0008077106 0009046905 0018117405 | IV/a III/d III/c | S-3 S-3 S-2 | L P L | 75.897.500 | 15.000.000 | Terapan Lanjutan |
| 19 | FT | Teknik Elektro | Pembelajaran Berbantuan Komputer untuk meningkatkan soft skills, kompetensi dan Hasil Belajar peserta didik pada Bidang Vokasi | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Dr. I Gusti Putu Asto Buditjahjanto, S.T., M.T. Prof. Dr. Luthfiah Nurlaela, M.Pd. | 0006077107 0018106603 | IV/a IV/d | S-3 S-3 | L P | 36.000.000 | 15.000.000 | Disertasi Doktor Lanjutan |
| 20 | FMIPA | Fisika | APLIKASI NANOPARTIKEL BAHAN ALAM (DOLOMIT BANGKALAN) UNTUK Mendukung Ketersediaan Agen Antibakteri pada Rongga Mulut | Material Maju | Lydia Rohmawati, S.Si., M.Si. Woro Setyarsih, S.Pd., M.Si. Setya Permana Sholicha | 0010058402 0002047103 | III/c III/d | S-2 S-2 | P P | 116.190.000 | - | Terapan Unggulan Perguruan Tinggi |

| No. | Fak. | Jurusan | Judul | Bidang Fokus | Tim Peneliti | NIDN | Gol. | Pend. | L/P | Dana 2019 Rp. | Dana Tambahan 2019 Rp. | Jenis Penelitian |
|-----|-------|---------------------|--|---|--|--|--------------------------------|--------------------------|------------------|---------------|------------------------|--|
| 21 | FIP | Bimbingan Konseling | Penerapan Teknologi Nanomaterial Emas Nanogold dan Nanosilver untuk Penyakit Kanker | Kesehatan dan Obat | Dr. Najlatun Naqiyah, M.Pd. Prof. Dr. Titik Taufikurohmah, S.Si., M.Si. Ananto Sidohutono, Dr. dr., MARS. | 0006097803 0013046805 | IV/a IV/b | S-3 S-3 | P P | 306.080.000 | - | Terapan Unggulan Perguruan Tinggi |
| 22 | FMIPA | Kimia | STANDARISASI PEWARNAAN DAN ENKAPSULASI PEWARNA ALAM PSIDIUM GUAJAVA, SYZYGIUM AQUEUM, GARCINIA MANGOSTANA SEBAGAI GREEN TECHNOLOGY UNGGULAN INDUSTRI TEKSTIL | Material Maju | Dr. Nita Kusumawati, S.Si., M.Sc. Samik, S.Si., M.Si. Dr. Anang Kistyanto, S.Sos., M.Si. | 0004078201 0006088306 0009127109 | IV/a III/b IV/a | S-3 S-2 S-3 | P L L | 224.329.000 | 15.000.000 | Terapan Unggulan Perguruan Tinggi |
| 23 | FMIPA | Fisika | Eksplorasi Konsep-konsep Fisika Berbasis Kearifan Lokal melalui "Place-Based Education": Optimalisasi Technopark dan Obyek Wisata di Jawa Timur | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Menengah) | Nadi Suprpto, S.Pd., M.Pd., Ph.D. Dra. Suliyannah, M.Si. Alif Syaiful Adam, S.Pd. | 0012068102 0006126108 | III/d IV/b | S-3 S-2 | L P | 259.266.000 | - | Dasar Unggulan Perguruan Tinggi |
| 24 | FMIPA | Kimia | ENKAPSULASI METFORMIN DENGAN KOMPOSIT KITOSAN ALGINAT SEBAGAI OBAT ANTI DIABETES TIPE 2 SISTEM SLOW RELEASE | Material Maju | Prof. Dr. Sari Edi Cahyaningrum, M.Si. Dr. Amaria, M.Si. | 0029127002 0029066401 | IV/c IV/c | S-3 S-3 | P P | 93.179.000 | - | Dasar Unggulan Perguruan Tinggi |
| 25 | FT | Teknik Sipil | Karakterisasi dan Aplikasi Kelor (Moringa oleifera) dalam Pengolahan Integratif Lindi Sampah Kampus Unesa untuk Optimalisasi Program Eco Campus | Material Maju | Dr. Erina Rahmadyanti, S.T., M.T. Ninik Wahyu Hidajati, S.Si., M.Si. Mas Suryanto H.S., S.T., M.T. | 0013087905 0016127101 0001047307 | IV/a IV/a III/c | S-3 S-2 S-2 | P P L | 141.987.500 | - | Dasar Unggulan Perguruan Tinggi |
| 26 | FMIPA | Fisika | PENGEMBANGAN MODEL PEMBELAJARAN MITIGASI BENCANA TSUNAMI BAGI MASYARAKAT | Kebencanaan | Prof. Dr. Madlazim, M.Si. Dr. Eko Hariyono, S.Pd., M.Pd. | 0005116510 0013107403 | IV/d IV/a | S-3 S-3 | L L | 88.575.000 | - | Dasar Unggulan Perguruan Tinggi |
| 27 | FMIPA | Biologi | OPTIMALISASI PRODUKSI MELALUI KULTUR JARINGAN, ISOLASI DAN KARAKTERISASI SENYAWA BIOAKTIF DAUN TAPAK LIMAN (Elephantopus scaber) | Pangan dan Pertanian | Dr. Yuliani, M.Si. Dr. Fida Rachmadiarti, M.Kes. Sari Kusuma Dewi, S.Si., M.Si. | 0021076801 0018026504 0005058309 | IV/c IV/c III/b | S-3 S-3 S-2 | P P P | 76.647.000 | - | Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Lanjutan |
| 28 | FISH | Pendidikan Sejarah | PENGEMBANGAN PERANGKAT PEMBELAJARAN SEJARAH BERORIENTASI FUTURE-MY ACTION PLAN (F-MAP) UNTUK MENUMBUHKAN KEMAMPUAN BERPIKIR REFLEKTIF DIRI SISWA SMA | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Desk Study Dalam Negeri | Drs. Nasution, M.Hum., M.Ed., Ph.D. Drs. Artono, M.Hum. Eko Satriya Hermawan, S.Hum., M.A. Rojil Nugroho Bayu Aji, S.Hum., M.A. | 0002086604 0004066508 0012118406 0002058504 | IV/b IV/a III/b III/b | S-3 S-2 S-2 S-2 | L L L L | 105.875.000 | 15.000.000 | Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Lanjutan |

| No. | Fak. | Jurusan | Judul | Bidang Fokus | Tim Peneliti | NIDN | Gol. | Pend. | L/P | Dana 2019 Rp. | Dana Tambahan 2019 Rp. | Jenis Penelitian |
|-----|-------|--|--|---|--|--|-------------------------------|--------------------------|------------------|---------------|------------------------|--|
| 29 | FT | Teknik Mesin | PENGEMBANGAN PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL BERBASIS DRAG FORCES BLADES SKALA MODEL di TEROWONGAN ANGIN | Energi dan Energi Terbarukan | Indra Herlamba Siregar, S.T., M.T. Dr. Mohammad Effendy, S.T., M.T. AKHMAD HAFIZH AINUR RASYID | 0007097103 0011037706 | III/c III/c | S-2 S-3 | L L | 96.958.500 | - | Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Lanjutan |
| 30 | FBS | Bahasa dan Sastra Indonesia | Pendidikan Karakter, Multikultural, dan Kewirausahaan Sebagai Model Gerakan Revolusi Mental untuk Pencegahan Radikalisme Santri dan Menghadapi Masyarakat Ekonomi ASEAN (Studi Kasus Pondok Pesantren di Jawa Timur) | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Besar) | Prof. Dr. Haris Supratno Dr. Heny Subandiyah, M.Hum. Resdianto Permata Raharjo, S.Pd., M.Pd. | 0028085506 0030116403 0701109201 | IV/e IV/b III/b | S-3 S-3 S-2 | L P L | 280.470.000 | 15.000.000 | Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Lanjutan |
| 31 | FISH | Pendidikan Moral Pancasila dan Kewarganegaraan | PENGEMBANGAN MODEL KEBIJAKAN PENINGKATAN INTEGRITAS DAN KEPROFESIONALAN TENAGA KEPENDIDIKAN DI UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA MENUJU PERGURUAN TINGGI UNGGUL DAN BERDAYA SAING | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Menengah) | Prof. Dr. Warsono, M.S. Dr. Ketut Prasetyo, M.S. Drs. Agus Trilaksana, M.Hum. | 0019056003 0012056012 0024126703 | IV/e IV/a IV/a | S-3 S-3 S-2 | L L L | 304.890.000 | 15.000.000 | Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Lanjutan |
| 32 | FMIPA | Pendidikan IPA | PENGUATAN SIKAP TOLERANSI DAN Keadilan Sosial TERHADAP KEBERAGAMAN PADA CALON GURU IPA MELALUI PERKULIAHAN BIDANG STUDI | Sosial Humaniora, Seni Budaya, Pendidikan Penelitian Lapangan Dalam Negeri (Kecil) | Dr. Wahono Widodo, M.Si. Dr. Totok Suyanto, M.Pd. Dra. Martini, M.Pd. Dhita Ayu Permata Sari, S.Pd., M.Pd. | 0010096807 0004046307 0002046702 0023108602 | IV/b IV/b IV/a III/b | S-3 S-3 S-2 S-2 | L L P P | 164.774.000 | - | Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Lanjutan |
| 33 | FMIPA | Fisika | Pengembangan Aplikasi Peringatan Dini Tsunami sekitar 4 Menit setelah Gempa Bumi | Kebencanaan | Prof. Dr. Madlazim, M.Si. SORJA KOESUMA S.Si, M.Si. Dr ELLA MEILIANDA S.T, M.T Dr. Supriyanto Rohadi, M.Si. | 0005116510 | IV/d | S-3 | L | 245.250.000 | 15.000.000 | Konsorsium Riset Unggulan Perguruan Tinggi |

Seluruh sesuai dengan Keputusan yang asli.
Kepala Bidang Umum dan Keuangan

BUDIARSO
NIP 196001131980101002

Ditetapkan di : Surabaya
Pada tanggal : 29 Maret 2019
Rektor,

ttd

NURHASAN
NIP 196304291990021001