

Torsi Dinamis Untuk Mengurangi Fluktuasi Pengukuran

Moh Fadillah Muis¹, Gunawan Sakti^{2*}, Bambang Bagus H³

^{1,2}, Program Studi Teknik Pesawat Terbang, Politeknik Penerbangan Surabaya

³ Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Politeknik Penerbangan Surabaya

*Korespondensi penulis Email: gunawan.sakti@poltekbangsby.ac.id.

ABSTRAK

Sistem Magnetic Brake ini digunakan pada alat ukur daya poros turbin angin di laboratorium aerodinamika, Hanggar AMTO147D-010, Politeknik Penerbangan Surabaya. Pada alat ukur daya poros turbin angin di lab aerodinamika yang menggunakan rem cakram mekanik terdapat beberapa permasalahan yaitu fluktuasi pengukuran, adanya gesekan pada piringan aluminium sebelum dilakukan operasi rem, kesulitan dalam pengukuran TSR maksimum dan minimum serta ketidaksejajaran antara poros turbin dengan rem magnetik, sehingga perlu adanya modifikasi pada alat uji rem magnetik yang ada sebelumnya. Metode penyelesaian masalah yaitu memodifikasi alat rem magnetik dengan membuat dudukan yang terpisah dengan dudukan turbin angin, kemudian memvariasikan jumlah kumparan dari dua kumparan menjadi empat kumparan dengan menggunakan jumlah lilitan sebanyak 2000 lilitan, kemudian menambahkan kopel pada sambungan poros turbin angin. Hasil penelitian dari modifikasi ini mampu menyelesaikan empat permasalahan yaitu mampu mengukur TSR maksimum $\lambda = 1.4-1.3$ dan TSR minimum $\lambda = 0$, misalignment antara upper bearing dan lower bearing dapat dikurangi dengan mengurangi pemasangan kopel antara poros turbin angin dan poros rem magnetik, pada penelitian sebelumnya pada TSR 14 rpm nya adalah 408 sedangkan setelah dipasangkan poros kopling pada TSR 1.4 dapat mencapai 421 rpm terjadi peningkatan kecepatan sekitar 3%. selain itu transfer getaran dari turbin ke rem magnetik dapat dicegah.

Kata kunci: Rem cakram magnetik, rasio kecepatan ujung, transduser torsi, koefisien daya, turbin angin

1. PENDAHULUAN

Rem magnetik adalah teknologi yang memanfaatkan gaya elektromagnetik dari kumparan untuk menghambat suatu benda yang bergerak sehingga benda tersebut dapat berhenti. Rem magnetik telah diaplikasikan di beberapa bidang, salah satunya di bidang transportasi seperti kereta shinkansen dan roller coaster.

Sistem pengereman ini menggunakan gaya elektromagnetik untuk memperlambat piringan yang terbuat dari logam non-feromagnetik yang terpasang pada poros turbin angin. Cakram tersebut diapit oleh stator belitan elektromagnetik yang menghasilkan medan magnet ketika dialiri listrik. Dan medan magnet yang memotong piringan akan menyebabkan arus Eddy pada piringan itu sendiri. Arus pusar ini menciptakan medan magnet yang arahnya berlawanan dengan medan magnet sebelumnya, sehingga menghambat gerak putar poros.

Untuk memenuhi penelitian yang berkesinambungan, maka perlu merujuk pada beberapa penelitian terdahulu, yang pertama adalah peneliti [1] melakukan penelitian tentang rancang bangun rem magnetik dengan menggunakan dua buah gulungan kumparan 4000 lilitan pada alat uji turbin angin di laboratorium aerodinamika Politeknik Penerbangan Surabaya. Dengan metode yang

dilakukan yaitu dengan membuat desain rem magnetik dengan arus Eddy diharapkan mampu memberikan tahanan putar tanpa gesekan Hasil akhir yang dicapai dari pengembangan rem magnetik ini adalah mampu mengatasi tiga permasalahan pada turbin angin Savonius, yaitu fluktuasi yang tidak seragam dan terlalu besar, gesekan pada piringan rem mekanik yang sulit dikontrol dan, pengaruh berat material piringan rem sehingga menunjukkan nilai torsi di atas 0 pada saat tidak ada pembebanan dengan mengukur rpm, torsi dan daya pada saat 0. Hasil akhir yang dicapai dari pengembangan rem magnetik ini adalah mampu mengatasi tiga permasalahan pada turbin angin Savonius, yaitu $T1 \leq TSR \leq 1.3$, dan pengukuran dilakukan dengan fluktuasi data seminimal mungkin.

Penelitian kedua dilakukan oleh [2] yang membuat rem magnetik yang digunakan pada alat uji turbin angin di laboratorium aerodinamika Politeknik Penerbangan Surabaya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan mengaplikasikan teori arus Eddy dan diharapkan dapat menyelesaikan ketiga permasalahan tersebut.

dengan parameter yang mampu mengukur daya, torsi dan rpm pada tip-speed ratio $0.1 \leq TSR \leq 1.3$ maka tidak terjadi fluktuasi pada saat pengukuran di alat uji daya

turbin. Rancang bangun alat rem magnetik pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi untuk alat uji turbin angin Savonius.

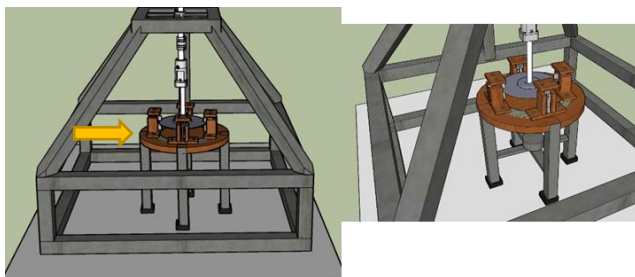
2. METODOLOGI

Penelitian adalah suatu penyelidikan yang sistematis untuk menambah sejumlah pengetahuan, juga merupakan suatu usaha yang sistematis dan terorganisir untuk menyelidiki masalah tertentu yang memerlukan jawaban. kegiatan penelitian yang bertolak dari inti atau rumusan masalah dan tujuan penelitian yang ingin dicapai. Langkah-langkah yang dilakukan oleh penulis harus didasarkan pada masalah dan tujuan penelitian.

2.1 Desain Alat Uji Rem Magnetik

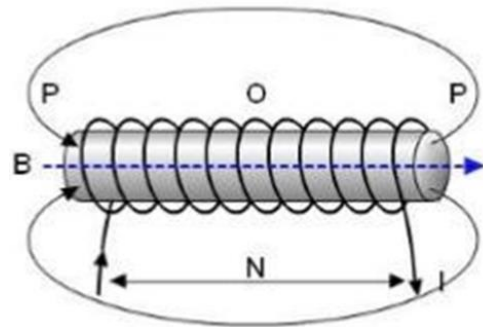
Desain modifikasi sistem rem magnetik pada alat ukur daya poros turbin angin ini diharapkan dapat menjadikan alat ini lebih baik lagi dari penelitian sebelumnya, untuk bahan yang digunakan sebagai dudukan rem magnetik yang akan saya modifikasi menggunakan bahan kayu dan besi, untuk kayu sebagai dudukan casing rem magnetik, bahan kayu memiliki sifat kelistrikan, yaitu kayu bersifat isolator (penghantar yang buruk).

Hal ini dikarenakan kayu tersusun atas atom-atom yang berikatan kovalen dimana elektron valensinya terikat kuat sehingga hanya sedikit elektron yang tersedia untuk menghantarkan listrik maka, alasan yang sama juga menyebabkan kayu menjadi penghantar panas yang buruk. Pada umumnya benda yang mampu menghantarkan listrik dengan baik dapat menghantarkan panas dengan baik pula, begitu juga sebaliknya, bahan selanjutnya adalah besi, besi merupakan logam yang paling banyak digunakan, baik dari segi jumlah maupun ragamnya. Hal ini terjadi karena besi memiliki sifat yang baik, yaitu kuat dan mudah dibentuk. Berbeda dengan kayu yang mudah terbakar, besi tahan api dan memiliki titik lebur yang relatif tinggi serta besi memiliki beban yang lebih berat sehingga tidak mudah bergeser untuk dapat menahan saat alat rem magnetik aktif. Berikut ini adalah desain modifikasi alat rem magnetik yang akan dibuat



Gambar 1 Gambar Desain Rem Magnetik yang Dimodifikasi.

Berikut ini rumus dan perhitungan kekuatan medan magnet (2.11):



Rumus radius:

$$B = (\mu_0 \cdot I) / 2\pi r \quad (1)$$

B = medan magnet pada solenoida (T)

μ_0 = permeabilitas ruang hampa udara = $4\pi \cdot 10^{-7}$

Wb/Am I = kuat arus listrik dalam ampere (A)

Tidak diketahui:

$$L = 320 \text{ cm} = 3,2 \text{ m}$$

$$N = 250 \times 8 \text{ putaran} = 2000 \text{ putaran}$$

$$I = 2,55 \text{ A}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

Tanyakan:

B =? Di bagian tengah solenoida

B =? Di ujung solenoida

Jawaban:

Induksi magnetik di bagian tengah solenoida

$$B = (\mu_0 \times N \times I) / L \quad (2)$$

$$B = (4\pi \times 10^{-7} \times 2000 \times 2,55) / 3,2$$

$$B = 6375\pi \times 10^{-7} \text{ T}$$

Jadi, besarnya medan magnet di bagian tengah solenoida adalah $6375\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/m}^2$

Induksi magnetik di ujung solenoida

$$B = (\mu_0 \times N \times I) / (2 \times L) \quad (3)$$

$$B = (4\pi \times 10^{-7} \times 2000 \times 2,55) / (2 \times 3,2)$$

$$B = 6375\pi \times 10^{-7} / 2B = 3,187\pi \times 10^{-7} \text{ T}$$

Jadi, besarnya medan magnet di ujung solenoida adalah $3,187\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/m}^2$

Jadi, jika semakin besar lilitan kumparan, semakin besar pula kekuatan medan magnetnya.

2.2. Bagaimana Alat Ini Bekerja

Perancangan alat ini akan menggunakan adaptor 20volt sebagai sumber listrik yang digunakan untuk mengatur arus dan tegangan yang digunakan oleh rem magnetik, serta menambahkan perangkat seperti saklar untuk memaksimalkan kinerja sumber arus listrik agar dapat mengalir ke rem magnetik. Listrik AC 220volt diubah menjadi DC 20volt oleh adaptor dan dialirkan ke saklar. Kemudian saat ON arus akan mengalir ke rem magnetik, menyebabkan kumparan/ lilitan beroperasi dan menghasilkan medan magnet yang diarahkan ke piringan rem. Sehingga putaran piringan rem dapat berputar secara konstan. rem magnetik, menyebabkan kumparan/lilitan beroperasi dan menghasilkan medan magnet yang diarahkan ke piringan rem. Metode pengujian menggunakan metode eksperimen, membandingkan rem magnetik dua spul dengan 4000 lilitan menggunakan variasi koil empat spul 2000 lilitan.

2.3 Teknik Pengujian

Pengujian alat Magnetic Brake dengan menggunakan pengukuran TSR dilakukan di hanggar Politeknik Penerbangan Surabaya dengan prosedur sebagai berikut:

1. Sambungkan rem magnetik ke peralatan uji turbin angin untuk menguji peralatan.
2. Sambungkan kabel dari koil melalui sakelar ke catu daya.
3. Nyalakan catu daya, kemudian tetapkan voltase.
4. Nyalakan terowongan angin untuk memutar turbin, jika turbin berputar maka rem cakram juga akan berputar (ke arah yang sama).
5. Sakelar diposisikan ON, secara otomatis rem magnetik akan mengurangi kecepatan dengan rem cakram.
6. Cakram rem akan berjalan lebih mulus sehingga dapat mencapai rasio kecepatan ujung $0,1 \leq \text{TSR} \leq 0,9$.
7. Kemudian, catatlah sebagai kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas beberapa hasil data eksperimen yang telah dilakukan. Diantaranya adalah beberapa data yang menunjukkan pengaruh performa turbin angin Savonius terhadap keberadaan rem magnetik yang berpengaruh terhadap pengukuran Tip Speed Ratio (TSR).

Perhitungan Bilangan Reynolds

Perhitungan bilangan Reynolds dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$Re = \rho VL / (\mu) \text{ dengan informasi sebagai berikut:}$$

Kepadatan Udara (ρ)

Pada penelitian ini, perhitungan densitas atau massa jenis udara dilakukan pada sebuah situs online, yaitu:

<http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html> dengan memasukkan data temperatur, yaitu 28°C pada kolom yang telah ditentukan hingga diketahui nilai $\rho = 1,1726 \text{ kg/m}^3$.

Kecepatan Udara (v)

Kecepatan udara dapat diketahui pada pengaturan terowongan angin sehingga dalam penelitian kecepatan udara dapat diatur dan dijaga konstan, yaitu $v=5 \text{ m/s}$.

Viskositas Udara (μ)

Perhitungan viskositas udara dilakukan pada situs online, yaitu <http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html> dengan memasukkan data temperatur, yaitu $28,0^\circ\text{C}$ pada kolom yang telah ditentukan hingga diketahui nilai besaran $\mu = 1,85 \times 10^{-5}$.

L dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $L = 2D$ di mana:

D = diameter bilah.

Jadi, diketahui bahwa $L = 0,32 \text{ m}$.

Berdasarkan penentuan nilai di atas, dapat ditentukan bahwa nilai bilangan Reynolds dapat dihitung sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{1,1726 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ m/s} \times 0,2\text{m}}{1,85 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}} = 63090,5$$

Bilangan Reynolds sangat penting untuk diketahui dalam menganalisa berbagai jenis aliran fluida. Penentuan bilangan Reynolds berdasarkan nilai aliran adalah sebagai berikut:

- (1) Laminer: $Re < 2300$
- (2) Transisi: $2300 < Re < 4000$
- (3) Bergejolak: $Re > 4000$

Data Penelitian dan Contoh Perhitungan

Sebelum data pengujian dapat disajikan, perlu dijelaskan di awal bagaimana contoh perhitungan matematis untuk mencari RPM, tenaga dan torsi,

Perhitungan TSR (λ)

TSR atau Tip Speed Ratio dihitung dengan menggunakan persamaan $\lambda = (\omega.R)/v =$ dengan perbandingan 4 spool dan 2 spool sebagai berikut:

Omega (ω)

ω adalah bentuk lain dari kecepatan poros atau RPM. Perhitungan ω dilakukan dalam satuan rad/s dan menggunakan persamaan $\omega = 2\pi n/60$ di mana $\pi = 3,14$ dan n adalah nilai RPM (sampel $n = 408$ RPM); dengan demikian

$$2 \text{ spool} : \omega = \frac{2 \times 3,14 \times 408 \text{ RPM}}{60} = 42,70 \text{ rad/s.}$$

$$4 \text{ spool} : \omega = \frac{2 \times 3,14 \times 426 \text{ RPM}}{60} = 44,07 \text{ rad/s.}$$

R adalah jari-jari turbin yaitu 0,16 m.

Kecepatan Udara (v)

Kecepatan udara dapat diketahui dalam pengaturan terowongan angin sehingga dalam penelitian kecepatan udara dapat diatur dan dijaga konstan, yaitu $v = 5$ m/s.

Berdasarkan nilai di atas, penentuan nilai TSR dapat dihitung sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{44,07 \text{ rad/s} \times 0,16 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 1,410 \approx 1,4$$

yang berarti kecepatan sudut untuk TSR 1.4 adalah 426 RPM.

E. Perhitungan Cp

Nilai Cp dihitung dengan menggunakan persamaan $Cp = \frac{Pt}{Pw}$ dengan informasi sebagai berikut:

1. Pt adalah daya yang dihasilkan oleh putaran poros turbin dengan satuan watt (Sampel $Pt = 0,022$ Watt).

2. Pw adalah daya yang dihasilkan oleh aliran udara dengan kecepatan 5 m/s, yang dihitung dengan persamaan $p_w = \frac{1}{2} \rho v^3 = \frac{1}{2} \times 1,1726 \times 5^3$ Pw = 2.257 Watt.

Berdasarkan ketentuan di atas, dapat ditentukan bahwa nilai Cp adalah:

$$Cp = \frac{0,022 \text{ watt}}{2,257 \text{ watt}} = 0,010$$

E. Perhitungan cm

Nilai Cm dihitung dengan menggunakan persamaan $Cm = \frac{M}{\frac{1}{4} \rho A v^2}$ dengan penjelasan sebagai berikut:

- 1) M adalah momen gaya atau torsi dengan satuan Nm (contoh torsi $M = 0,2351$ Nm).
- 2) ρ adalah densitas udara dengan nilai $\rho = 1,1726$ kg/m³.
- 3) A adalah area turbin dengan persamaan $A = D \times H = 0,32 \times 0,31 = 0,0308$ m² (D: diameter turbin dan H: tinggi turbin).
- 4) v adalah kecepatan aliran udara dengan nilai $v = 5$ m/s.

Berdasarkan ketentuan di atas, dapat ditentukan bahwa:

$$m = \frac{0,0067}{\frac{1}{4} \times 1,1726 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0308 \text{ m}^2 \times (5 \text{ m/s})^2} = 0,0925$$

3.1. Pemeriksaan Ketidakpastian

Setelah melakukan penelitian, Anda harus melakukan pemeriksaan ketidakpastian yang berguna untuk menemukan angka ketidakpastian antara pengukuran sebelum modifikasi dan setelah modifikasi.

Rumus Ketidakpastian:

$$\Delta X = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{N(\sum X_1^2) - (\sum X_1)^2}{(N-1)}} \quad (4)$$

3.2. Pengujian Rem Magnetik

Pengujian merupakan kegiatan yang melakukan pengukuran terhadap TSR untuk mengetahui torsi, daya, dan RPM, pengujian ini dilakukan secara bertahap yaitu pada saat pengukuran seluruh TSR akan dilakukan selama 2 menit dengan kecepatan angin 5 m/s dan data yang diambil meliputi:

-Torsi

Turbin -RPM

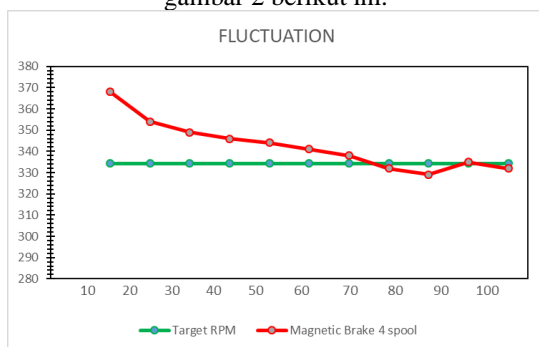
- Daya (Watt)

Masing-masing TSR berada pada 0,1 hingga 0,9 TSR. Turbin angin Savonius, yang terdiri dari empat inti besi

yang disatukan dan sebuah kumparan dengan 2000 lilitan yang searah dengan arah medan magnet dan parameter pengukuran seperti tabel. Kinerja turbin angin Savonius ...

3.2. Pemecahan Masalah 1

Pada rem cakram magnetik terdapat permasalahan yaitu gesekan pada piringan yang tidak seragam sehingga menyebabkan fluktuasi pengukuran daya pada alat ukur turbin angin Savonius. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dilakukan modifikasi rem cakram magnetik yang mampu melakukan pengereman tanpa adanya gesekan pada piringan rem untuk mengurangi fluktuasi pengukuran daya pada alat ukur turbin angin Savonius di Lab Aerodinamika Politeknik Penerbangan Surabaya yang dapat ditunjukkan pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Grafik fluktuasi rem magnetik dari satu spool ke empat spool

3.3. Pemecahan Masalah 2

Pada bab 1, terdapat permasalahan pada desain rem magnetik sebelumnya, yaitu gesekan yang sulit dikontrol dan terlalu besar sehingga pengukuran daya pada tip-speed ratio yang rendah sulit dilakukan, sehingga modifikasi alat rem magnetik dapat mengatasi permasalahan tersebut.

Hasil penelitian bertujuan untuk mengukur tip-speed ratio pada rem magnetik dan membandingkannya dengan alat rem magnetik. Awalnya, rem magnetik dua spool mampu mengukur TSR 1,4 hingga 0,1 sedangkan rem magnetik dengan empat spool hanya mampu mengukur TSR 0,9 hingga 0,1.

Tabel tersebut merupakan hasil dari pengujian rem magnetik dengan jumlah lilitan 2000 lilitan sebanyak empat spool pada alat Turbin Savonius dan diambil dengan transducer yang bernama Datum. Semua data yang diambil berdasarkan hasil data rata-rata pada kecepatan 5 m/s dan berpedoman pada TSR yang didapat dari perhitungan turbin Savonius yang menghasilkan torsi, daya, dan RPM. memiliki grafik gaya hambat yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin dengan penambahan dimples. Hal ini membuktikan bahwa penambahan dimples tidak dapat meningkatkan performa karena drag yang dihasilkan lebih besar dari turbin konvensional.

Tabel 2 Hasil pengujian Rem Magnetik 2000 gulungan empat spool

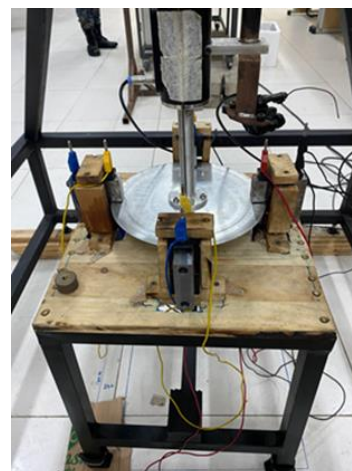
TSR	Torque(Nm)	Speed
0,1	0,012	31,09
0,2	0,0117	62,26
0,3	0,0113	91,27
0,4	0,0110	122,13
0,5	0,0097	153,02
0,6	0,0095	181,77
0,7	0,0089	210,99
0,8	0,0080	241,16
0,9	0,0068	268,39
1	0,0056	305,90
1,1	0,0049	324,68
1,2	0,0035	371,99
1,3	0,0011	390,85
1,4	0,0006	420,65

3.4. Pemecahan Masalah 3

Pada bab 1 terdapat masalah transfer getaran dari objek uji daya poros turbin angin sehingga kurang maksimal dalam pengukuran TSR dan membutuhkan blok berupa paving block untuk meredam getaran dari alat rem magnetik itu sendiri.

Seperti pada gambar 3 desain alat yang dibuat secara visual membuktikan bahwa transfer getaran berkurang karena alat rem magnetik itu sendiri terpisah dari dudukan uji daya turbin Savonius sehingga transfer getaran yang sebelumnya terjadi tidak terjadi.

transfer getaran yang sebelumnya terjadi tidak terjadi lagi dan tidak memerlukan batu paving untuk guncangan untuk meredam getaran yang terjadi pada alat rem magnetik.

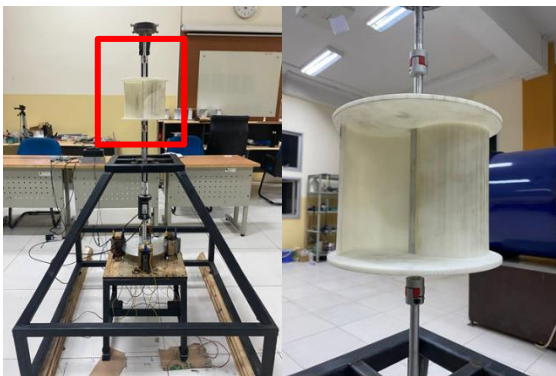


Gambar 3 Gambar Alat Rem Magnetik setelah dimodifikasi

3.5. Pemecahan Masalah 4

Pada bab 1, terdapat masalah ketidaksejajaran pada alat uji daya poros turbin angin, sehingga menyebabkan pengaturan objek uji daya poros turbin angin mudah berubah.

Untuk mengatasi hal tersebut dengan menambahkan poros kopling pada upper bearing dan lower bearing seperti pada gambar 4 terbukti dapat memudahkan dalam perakitan pembongkaran upper bearing dan lower bearing sehingga dapat mengatasi settingan yang tidak akan sering berubah pada penelitian sebelumnya pada TSR 1.4 rpm nya 408 sedangkan setelah dipasangkan poros kopling pada TSR 1.4 dapat mencapai 421 rpm ada peningkatan kecepatan sekitar 3%.



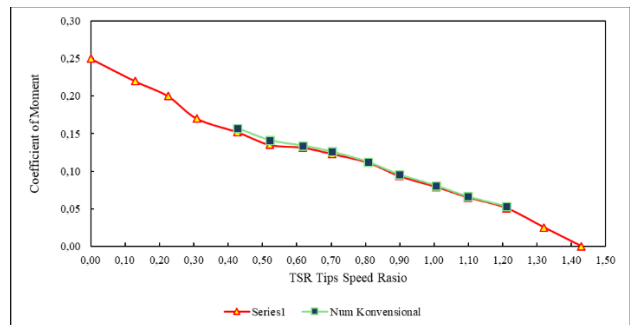
Gambar 4 Pemasangan kopling pada poros

3.7. Perbandingan Pengukuran C_p dan C_m Rem Magnetik dengan Pengukuran Numerik

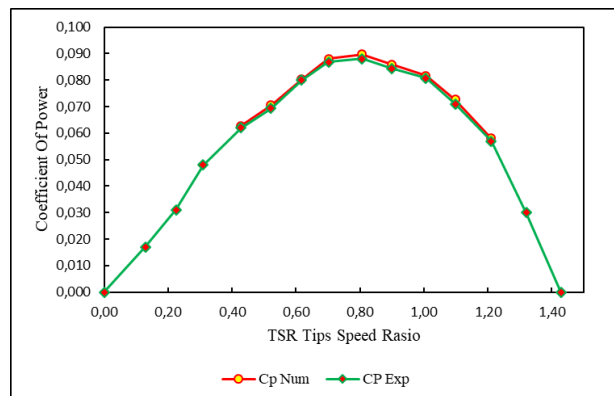
Hasil perbandingan pengukuran ini digunakan untuk mengetahui seberapa baik alat eksperimen yang digunakan dengan perbandingan perhitungan secara numerik, berikut tabel hasil perhitungan C_p dan C_m Tabel 3. Hasil perhitungan C_p dan C_m

Tabel 3 hasil perhitungan C_m dan C_p konvensional

TSR	CM Exp	CM Num	$\Delta\%$	CP Num	CP Exp	$\Delta\%$
0,00	0,25				0,00	
0,13	0,22				0,02	
0,22	0,20				0,03	
0,31	0,17				0,05	
0,43	0,15	0,16	3,47	0,06	0,06	1,41
0,52	0,13	0,14	4,63	0,07	0,07	1,96
0,62	0,13	0,13	1,97	0,08	0,08	0,42
0,70	0,12	0,13	2,45	0,09	0,09	1,39
0,81	0,11	0,11	0,67	0,09	0,09	1,73
0,90	0,09	0,10	2,10	0,09	0,08	1,82
1,01	0,08	0,08	2,09	0,08	0,08	1,09
1,10	0,07	0,07	1,70	0,07	0,07	2,30
1,21	0,05	0,05	4,40	0,06	0,06	1,75
1,32	0,03				0,03	
1,43	0,00				0,00	



Gambar 5 Grafik Koefisien Momen pada TSR 0,1 \leq 1,4 turbin konvensional



Gambar 6 Grafik Coefisien Of Power pada TSR 0,1 \leq 1,4 dari turbin konvensional

4. KESIMPULAN

Sehingga ketika dilakukan Berdasarkan pembahasan pada Bab IV mengenai modifikasi yang dilakukan pada perangkat rem magnetik terhadap performa turbin angin Savonius, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Modifikasi rem magnetik dengan menggunakan empat gulungan terbukti dapat mengurangi fluktuasi yang terjadi.

2. Misalignment antara upper bearing dengan lower bearing dapat dikurangi dengan mengurangi pembongkaran assembly pada bagian bearing agar setting objek uji daya poros turbin angin tidak berubah, untuk mengatasinya dengan upaya pemasangan coupling pada sambungan poros turbin angin, maka setting tidak akan sering berubah.

3. Dudukan yang terpisah dengan dudukan turbin angin terbukti mengurangi transfer getaran dari pengukuran rem magnetik yang tidak menyebabkan piringan rem dan rem magnetik saling bergesekan.

4. Rem magnetik tidak mampu mengukur TSR maksimum $\lambda = 1,3-1,4$ dan hanya mampu mengukur TSR minimum $\lambda = 0,1-0,9$ sehingga dapat disimpulkan bahwa rem magnetik dengan empat spul tidak mampu mengukur TSR maksimum seperti yang telah ditetapkan pada hipotesis di bab 1.

5. REFERENSI

- [1] SEBASTIEN EMMANUEL GAY, "REM MAGNETIK TANPA KONTAK UNTUK APLIKASI OTOMOTIF," 2005.
- [2] Z. Keszthelyi, G. Meynet, C. Georgy, GA Wade, V. Petit, dan A. David-Uraz, "Efek medan magnetik fosil permukaan pada evolusi bintang masif: I. Evolusi medan magnet, pendinginan kehilangan massa, dan pengereman magnetik," *Mon Not R Astron Soc*, vol. 485, no. 4, hal. 5843-5860, Mar. 2019, doi: 10.1093/mnras/stz772.
- [3] M. N. Machida dan T. Matsumoto, "Pengaruh Pengereman Magnetik pada Pembentukan Piringan Bintang di Awan Bermagnet Kuat Shu-ichiro INUTSUKA," 2011. [Online]. Available: <https://academic.oup.com/pasj/article/63/3/555/1451139>
- [4] G. Meynet, P. Eggenberger, dan A. Maeder, "Model bintang masif dengan pengereman magnetik," *Astron Astrophys*, vol. 525, no. 7, Des. 2010, doi: 10.1051/0004-6361/201016017.
- [5] K. WT Jianke Li, "Pengereman magnetik yang berkurang pada variabel bencana magnetik yang berputar secara serempak," 1993.
- [6] W. E. J. 1, T. F. 2 Tri Istanto 1, "ANALISIS KETAKPASTIAN PENGUKURAN (UNCERTAINTY MEASUREMENT) PADA PENGUJIAN KARAKTERISTIK ALIRAN FASA TUNGGAL ALIRAN UDARA VERTIKAL KE BAWAH PADA PENUKARAN KALOR SALURAN ANTIBODI BERCELAH SEMPIT," 2010.
- [7] S. Patel, M. Patel, A. Patel, dan C. Sanghani, "Pengembangan Rem Elektro-Magnetik," *IJIRST-International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, vol. 1, 2015, [Online]. Available: www.ijirst.org
- [8] B. Dicky, A. Dewantara, and S. Manan, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI LISTRIK EKSTERNAL ELEKTROMAGNETIK PADA MOTOR 1 PHASA," 2015.
- [9] D. Hu, Y. Yan, dan X. Xu, "Desain optimal hemat energi dan kontrol rem elektromagnetik pada mobil penumpang," *Mechanical Sciences*, vol. 10, no. 1, hlm. 57-70, Jan. 2019, doi: 10.5194/ms-10-57-2019.
- [10] H. Iqbal dan BJ Yi, "Desain sistem rem elektromagnetik multipole bilayer baru untuk antarmuka haptic," *Ilmu Terapan (Swiss)*, vol. 9, no. 24, Des. 2019, doi: 10.3390/app9245394.
- [11] H. Eftekhari, A. Sh Mahdi Al-Obaidi, dan S. Eftekhari, "Performa Aerodinamis Turbin Angin Sumbu Vertikal dan Horizontal: Sebuah Tinjauan Perbandingan," *Jurnal Sains & Teknologi Indonesia*, vol. 7, no. 1, hal. 65-88, 2022, doi: 10.17509/ijost.v7i1.
- [12] H. D. S. Budiono dkk., "Pengembangan Kontrol Aktuator Pengereman Magnetik Cerdas untuk Kendaraan Listrik Berat," *Jurnal Teknologi*, vol. 11, no. 7, pp. 1337-1347, 2020, doi: 10.14716/ijtech.v11i7.4462.
- [13] G. S. , F. F. Rangga Wahyu Hidayat, "RANCANGAN MAGNETIC BRAKE PADA ALAT PENGUJIAN TURBINE ANGIN DI LAB. AERODINAMIKA POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA," 2022.
- [14] Y. Gandhi¹ , D. Modh² , N. Kishan, R. Parmar, and N. Panchal, "Review Paper on Eddy Current and

Electromagnetic Brake," 2021. [Online].
Available: www.ijert.org

- [15] Taufiqurrohman, G. Sakti, and F. Faizah,
"RANCANGAN KINERJA MAGNETIC BRAKE
UNTUK ALAT UJI DYNAMOMETER
TURBINE ANGIN DI LAB AERODINAMIKA
POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA,"
2022.