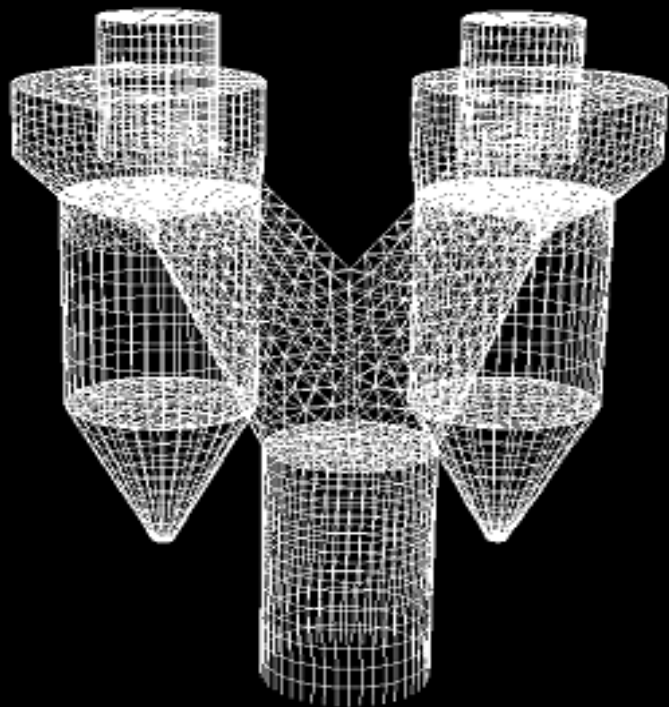


Jurnal Teknik Mesin

Jurnal Teknik Mesin
Volume XIX - No. 2 - Oktober 2004



EDITOR

B. Sutjiatmo (Ketua), A. Suwono,
D. Suharto, K. Bagiasna,
S. D. Jenie, S. S. Brodjonegoro,
Abdurrachim, I. Nurhadi,
R. Suratman, P. S. Darmanto.

MITRA BESTARI

I. P. Nurprasetio (ITB)
I. S. Putra (ITB)
A. I. Mahyuddin (ITB)
Y. Yuwana (ITB)
Z. Abidin (ITB)
P. Sutikno (ITB)
T. Hardianto (ITB)
T. A. F. Soelaiman (ITB)
N. P. Tandian (ITB)
S. Wiryolukito (ITB)
A. Basuki (ITB)

REDAKSI PELAKSANA

A. D. Pasek (Ketua), I. G. W. Puja,
Indrawanto, W. Adriansyah,
A. Wibowo, I. N. Diasta.

ALAMAT REDAKSI

Gedung LITBANG Sarana dan
Prasarana-Lt.III
Institut Teknologi Bandung
Jalan Tamansari 126
Bandung 40132
Tel. : (022)-2502342
Fax: (022)-2502342
E-mail: ari@termo.pauir.itb.ac.id
nono@termo.pauir.itb.ac.id

CARA BERLANGGANAN

Permintaan berlangganan dapat
dikirimkan ke alamat redaksi di
atas.

Terbit 2 (dua) kali dalam satu tahun
Bulan April dan Oktober.

EDITORIAL

Pada Volume XIX no. 2, Jurnal mesin terbit dengan lima buah makalah. Makalah pertama yang berjudul Analisis Reaktor Kimia Berdasarkan Standar Inspeksi Berbasis Resiko API 581 ditulis oleh T.A. Fauzi Soelaiman dari Departemen Teknik Mesin ITB dan tim dari Departemen Pertambangan ITB. Makalah ini membahas pentingnya melakukan inspeksi resiko terhadap peralatan proses, dan hasil penerapan inspeksi resiko pada suatu reaktor kimia. Hasilnya menunjukkan bahwa metoda yang digunakan dapat dipakai untuk memprediksi resiko pada komponen-komponen reaktor kimia dengan cukup baik.

Makalah kedua berjudul Kaji Eksperimental dan Numerik Kinerja *Cyclo Dust Filter*, ditulis oleh Prihadi Setyo Darmanto dan Joko Sarsetyanto dari Departemen Teknik Mesin. Makalah ini membahas keandalan *Cyclo Dust Filter*, yang berupa gabungan siklon dan filter kain, dalam menyaring partikel dari aliran gas. Analisis keandalan dilakukan dengan kaji numerik dan eksperimen. Hasil analisis antara lain menunjukkan bahwa efisiensi pemisahan *Cyclo Dust Filter* dapat mencapai 99% yang menyamai efisiensi *electrostatic precipitator*. Disamping efisiensi, hasil analisis juga menunjukkan pengaruh parameter-parameter penting terhadap kinerja alat.

Carolus Bintoro, mahasiswa Departemen Teknik Mesin, beserta para pembimbingnya menulis makalah ketiga yang diberi judul: Kaji Komputasional Pengaruh Beban dan Keausan terhadap Kekakuan Bantalan Rol. Makalah ini membahas hasil kajian secara numerik pengaruh peningkatan keausan terhadap peningkatan kekakuan bantalan. Selain itu, kajian numerik yang dikembangkan juga berhasil memperlihatkan hubungan antara defleksi dan kekakuan serta gaya radial dan kekakuan sebagai fungsi dari keausan yang dinyatakan dalam *diametral clearance* (Cd).

Makalah keempat ditulis oleh Maria F. Sutanto yang merupakan mahasiswa program doktor yang melakukan penelitian di Laboratorium Termodinamika PPAU – IR ITB. Makalah ditulis bersama para pembimbingnya. Makalah ini membahas kaji eksperimen kinerja sudu turbin angin berbentuk silinder berputar yang dilengkapi dengan rotor Savonius. Hasil pengujian menunjukkan bahwa silinder yang berputar dapat digunakan sebagai sudu kincir angin karena adanya gaya angkat yang timbul dari efek Magnus yang terjadi pada silinder tersebut. Perbandingan panjang dan diameter silinder yang baik adalah 4.

Makalah terakhir ditulis oleh Ondřej Cundr dari Czech Technical University in Prague. Makalah yang berjudul *A Plausible Energy Yield from Palm Oil Mill Effluent*, membahas mengenai potensi limbah minyak kelapa sawit untuk dijadikan bahan bakar gas. Makalah ini memuat data-data potensi limbah yang dapat dimanfaatkan dan metoda gasifikasi yang mungkin diterapkan.

Akhir kata Redaksi mengucapkan selamat membaca semoga makalah-makalah dalam Jurnal Mesin memberi informasi dan pengetahuan yang bermanfaat.

MESIN

Jurnal Teknik Mesin

Vol. XIX, No. 2, Oktober 2004

No. ISSN: 0852-6095

Diterbitkan oleh : Departemen Teknik Mesin, FTI

Institut Teknologi Bandung

Surat ijin

: STT No. 964/DIT-JEN/PPG/STT/1982.

DAFTAR ISI

<i>Analisis Resiko Reaktor Kimia Berdasarkan Standar Inspeksi Berbasis Resiko (Risk Based Inspection: RBI) API 581</i> T. A. Fauzi Soelaiman, Ahmad Taufik dan Tito Arya Soma	37
<i>Kaji Eksperimental dan Numerik Kinerja Cyclo Dust Filter</i> Prihadi Setyo Darmanto dan Joko Sarsetyanto	49
<i>Kaji Komputasional Pengaruh Beban dan Keausan Terhadap Kekakuan Bantalan Rol</i> Carolus Bintoro, Komang Bagiasna, Djoko Suharto dan Zainal Abidin	56
<i>Kaji Eksperimen Optimasi Koefisien Daya SKEA Jenis Poros Datar dengan Sudu Gabungan Silinder Berputar dan Rotor Savonius</i> Maria F. Soetanto, Aryadi Suwono, Prihadi S. Darmanto dan Ari D. Pasek	63
<i>A Plausible Energy Yield from Palm Oil Mill Effluent</i> Ing. Ondřej Cundr	70

M E S I N

Jurnal Teknik Mesin

Vol. XIX, No. 2, Oktober 2004

KAJI EKSPERIMEN OPTIMASI KOEFISIEN DAYA SKEA JENIS POROS DATAR DENGAN SUDU GABUNGAN SILINDER BERPUTAR DAN ROTOR SAVONIUS

Maria F. Soetanto, Aryadi Suwono, Prihadi S. Darmanto dan Ari D. Pasek

Laboratorium Termodinamika PPAU-IR ITB
Jl. Tamansari 126, Bandung 40132
e.mail: maria@termo.pauir.itb.ac.id

Ringkasan

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) jenis poros datar mempunyai efisiensi pemanfaatan yang lebih tinggi dibandingkan SKEA jenis lain pada kondisi yang sama. Sudu profil silinder berputar diambil sebagai alternatif pengganti sudu profil airfoil karena sudu profil silinder juga dapat menghasilkan gaya angkat (lift), selain itu dalam proses pembuatannya, profil silinder relative lebih sederhana. Gaya angkat yang dihasilkan oleh silinder yang berputar ini dikenal sebagai Efek Magnus [1,7,9]. Rotor Savonius dalam penelitian ini digunakan sebagai system starter aerodinamik pemutar silinde. Penelitian ini adalah melakukan uji eksperimen untuk mendapatkan koefisien daya optimum yang dapat dihasilkan suatu SKEA poros datar baru dengan sudu gabungan silinder berputar dan rotor savonius. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan 2 variasi model sudu, yaitu sudu dengan rasio panjang silinder terhadap diameter silinder (rasio L/D) 3 dan 4, dengan memberikan 3 variasi kecepatan angin 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sudu dengan rasio $L/D = 4$ memberikan daya yang lebih besar disbanding sudu dengan rasio $L/D=3$. Hasil eksperimen juga memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan angin yang diberikan, main besar pula daya yang dihasilkan..

Abstract

Horizontal Axis Wind Energy Conversion System (HAWECS) is more efficient than other Wind Energy Conversion Systems at the same condition [2,3]. Rotating cylindrical blade is taken as the substitute alternative to the airfoil blade considering that presence of lift force and its simple manufacturing production. The lift force generated by the rotating cylinder is known as the Magnus Effect [1,7,9]. The savonius rotor in this research is employed to propel the cylinder. This research conducted an experiment to optimize the energy conversion of a HAWECS which its blades consist of the combination of cylinder and savonius rotor. Two kind of blades were used in this experiment, i.e. blade with L/D (ratio of the length and diameter of cylinder) equals to 3 and 4. Three variations of wind velocities were used, i.e. 8.5 m/s, 9.7 m/s, and 10.2 m/s. Experimental results present that the blade with L/D ratio = 4 give more efficient than the $L/D = 3$, and the increase of power was reached if the wind velocity increases.

Keywords: HAWECS – rotating cylinder – savonius rotor – magnus effect – power coefficient

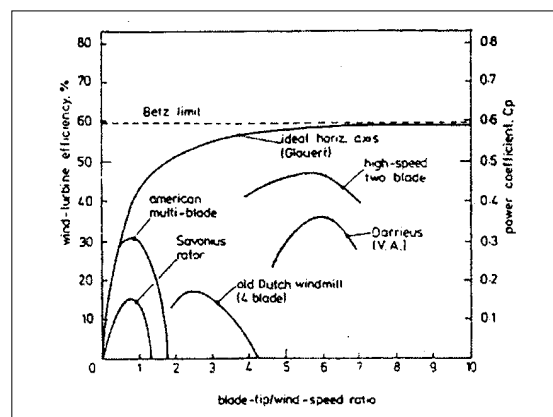
1. PENDAHULUAN

Dewasa ini dengan diluncurkannya program CDM (Clean Development Mechanism) sebagai tindak lanjut dari protokol Kyoto, penggunaan energi angin sebagai energi alternatif pengganti minyak bumi semakin banyak mendapatkan perhatian.

Penggunaan angin sebagai energi alternatif sangat menarik karena tidak memerlukan berbagai bentuk pengadaan dan transportasi, serta dalam pemanfaatannya tidak mengganggu lingkungan dalam tingkat yang mengawatirkan. Selain itu angin merupakan sumber energi yang terbarukan.

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya memperlihatkan bahwa system konvensi energi angin (SKEA) jenis poros datar mempunyai prestasi koefisien daya yang lebih tinggi dibanding SKEA jenis

lainnya pada kondisi yang sama, seperti terlihat pada gambar (1) di bawah ini.

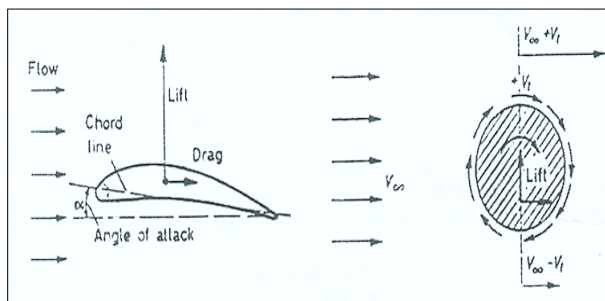


Gambar (1): Karakteristik berbagai SKEA [3].

Penelitian ini mencoba mendapatkan optimasi koefisien daya yang dapat dihasilkan oleh suatu SKEA baru jenis poros datar dengan sudu berbentuk gabungan silinder berputar dan rotor savonius. Penggunaan sudu berbentuk silinder berputar ini diambil dengan pertimbangan bahwa dalam proses pembuatannya profil silinder relative sederhana dan tidak membutuhkan teknologi tinggi seperti pembuatan sudu airfoil. Selain itu seperti yang kita ketahui, banyak daerah-daerah di Indonesia yang masih belum terjangkau oleh listrik konvensional, sehingga jenis SKEA pada penelitian ini akan sangat sesuai untuk diterapkan.

Jika airfoil dapat menghasilkan gaya angkat karena bentuk profilnya, maka silinder juga dapat menghasilkan gaya angkat dengan syarat silinder tersebut harus dalam keadaan berputar selama proses bekerjanya. Fenomena ini yang dikenal sebagai **Efek Magnus**. Agar silinder dapat berputar, pada bagian ujung silinder dipasangkan rotor savonius. Jadi fungsi rotor savonius pada penelitian ini adalah sebagai pemutar silinder. Dasar pemikiran dipilihnya rotor savonius adalah karena dalam penelitian mengenai rotor savonius yang telah dilakukan sebelumnya diperoleh hasil bahwa rotor savonius mempunyai momen torsi yang baik sebagai penggerak SKEA lain [5,6].

Konsep gaya angkat yang dapat dihasilkan oleh profil airfoil dan sudu silinder dapat dilihat dari gambar (2) di bawah.



Gambar (2): Gaya-gaya serupa yang dapat dibangkitkan oleh profil sudu airfoil dan silinder jika dilewati aliran angin [2]

2. METODOLOGI

2.1. Model Uji SKEA Poros Datar Penelitian ini

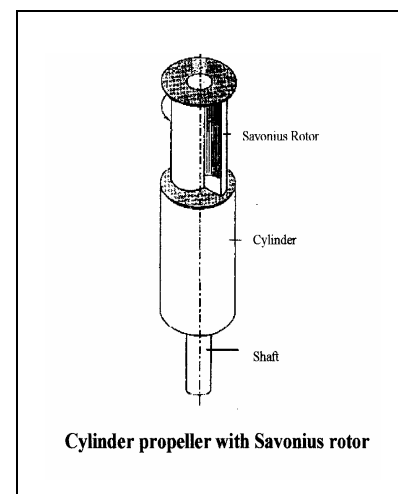
Model uji SKEA poros datar dengan sudu berupa gabungan silinder berputar dan rotor savonius dapat dilihat pada gambar (3)a, (3)b, dan (3)c di bawah ini.



Gambar (3).a: Model Uji SKEA.



Gambar (3).b: Sudu silinder dan rotor savonius.



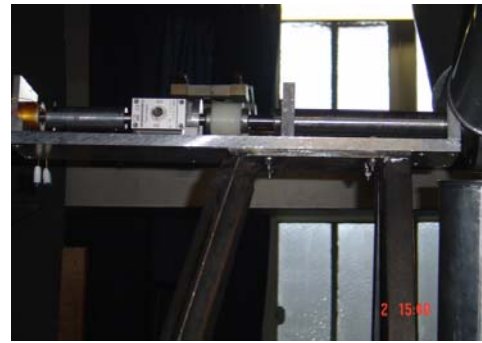
Gambar (3).c: Sudu gabungan silinder dan rotor Savonius.

Model uji SKEA terdiri dari:

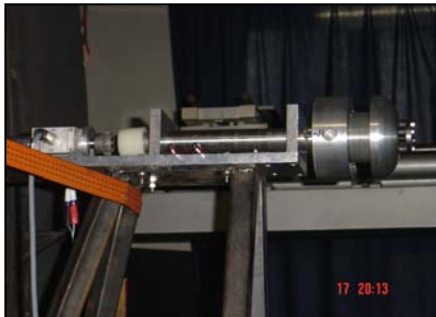
- 3 sudu berbentuk gabungan silinder berputar dan rotor savonius, dengan 2 variasi panjang sudu, yaitu $L/D=3$, dan $L/D=4$.
- kepala pemutar SKEA
- tower/menara



Gambar (4): 3 sudu SKEA.



Gambar (7): Perangkat alat ukur yang digunakan.



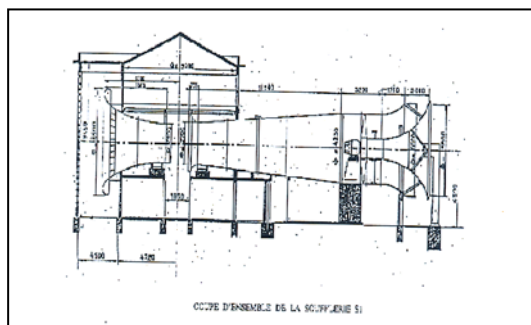
Gambar (4): Kepala pemutar SKEA.

2.2. Perangkat Pengujian

Pengujian dilakukan di Terowongan Angin “La Grande Soufflerie S1 a Banleve” di l’IMFT (l’Institut de Mecanique des Fluides de Toulouse) di Toulouse, Perancis.

Perangkat pengujian terdiri dari:

1. Terowongan angin, dengan diameter seksi uji = 2,40 m (lihat Gambar 6)
2. Model uji SKEA 3 sudu (lih. Gambar 4)
3. Couplemetre type HBM-T5: untuk mengukur torsi (lihat Gambar 7)
4. Brake dynamometer type FAS 50 _ref:338 200 00: untuk memberi beban
5. Kopling elastis: sebagai penerus torsi.



Gambar (6): Terowongan angin S1.

2.3. Prosedur Pengujian

Kegiatan utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memperoleh data torsi dari setiap variasi waktu yang ditentukan. Dari hasil perhitungan selisih waktu dan torsi yang diperoleh dapat ditentukan kecepatan putar dari SKEA pada saat itu. Besarnya daya dapat diperoleh dari hasil kali kecepatan putar dan torsi yang terukur.

Koefisien daya (C_p) didapatkan dari:

$$C_p = \frac{P}{1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot U_\infty^3}$$

dimana: P = Daya (Watt)

S = luasan SKEA (m^2)

U_∞ = kecepatan angin yang diberikan (m/s)

Tiga variasi kecepatan angin yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: 8,6 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s.

Rasio kecepatan α , didefinisikan sebagai rasio kecepatan putar SKEA terhadap kecepatan angin.

$$\alpha = \frac{\Omega \cdot R}{U_\infty}$$

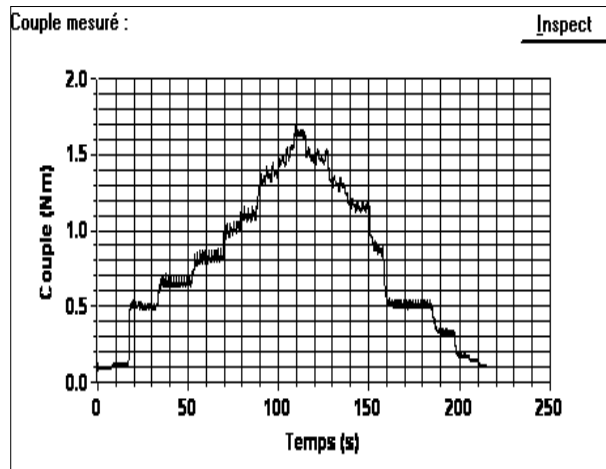
dimana: Ω = kecepatan putar SKEA

R = jari-jari

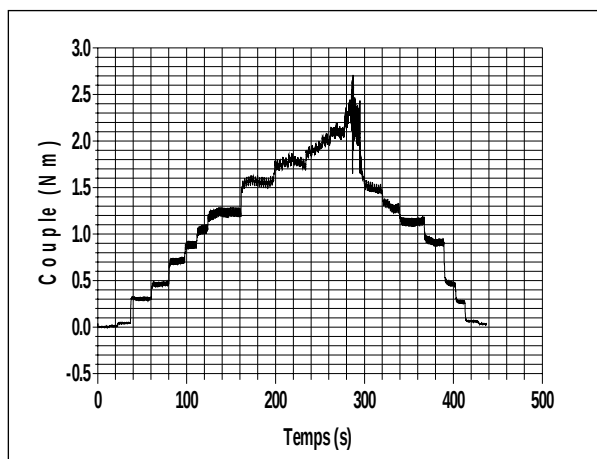
U_∞ = kecepatan angin yang diberikan

3. DATA PENGUJIAN DAN ANALISIS

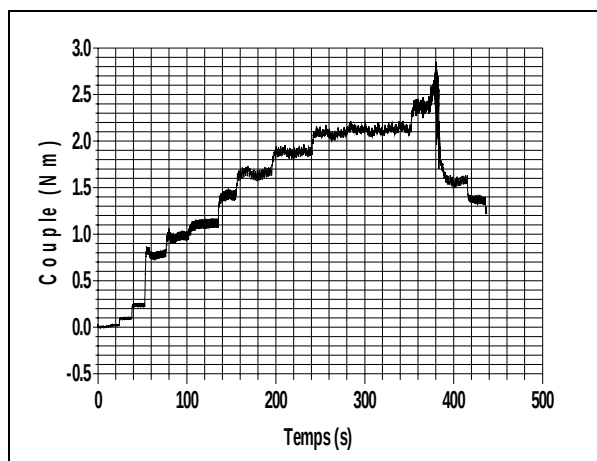
3.1. Hasil Pengukuran Torsi pada berbagai variasi kecepatan angin



Gambar (8): Hasil Pengukuran Torsi sebagai fungsi waktu dgn kec. angin = 8,5 m/s.



Gambar (9): Hasil Pengukuran Torsi sebagai fungsi waktu dgn kec. angin $U_{\infty}=9,7$ m/s.



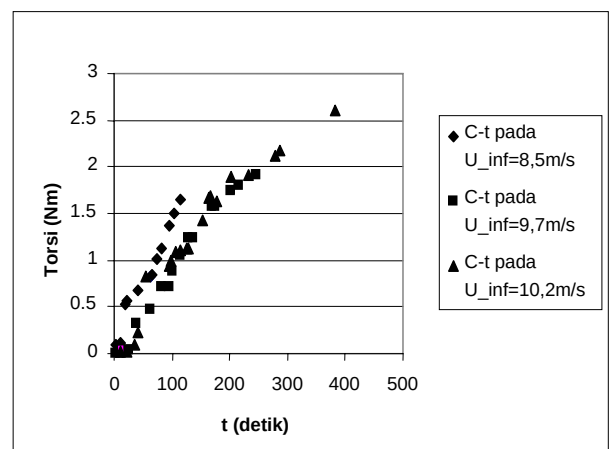
Gambar (10): Hasil Pengukuran Torsi sebagai fungsi waktu dgn kec. angin $U_{\infty}=10,2$ m/s.

3.2. Hasil Pengolahan Data dan Analisis

Karakteristik suatu SKEA dinyatakan oleh prestasi aerodinamiknya yang diwakili oleh koefisien daya, C_p , yang dihasilkan SKEA tersebut terhadap rasio kecepatan putarnya, α .

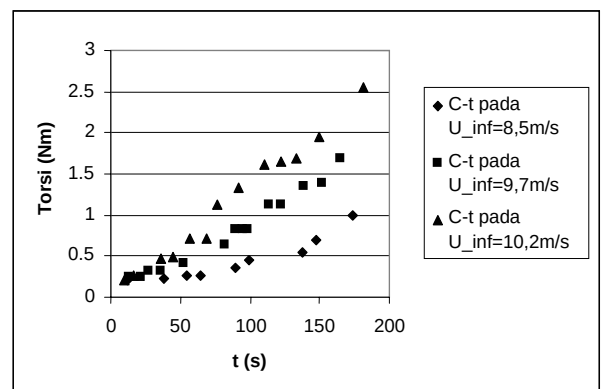
Dalam penelitian ini, daya yang dapat dibangkitkan oleh model SKEA diperoleh dari besarnya torsi yang didapat dikalikan dengan kecepatan putar yang dihasilkannya.

Dari hasil eksperimen pengukuran Torsi pada dua variasi panjang sudu silinder, yaitu sudu dengan rasio $L/D=4$ dengan 3 variasi kecepatan angin, yaitu kecepatan angin $U_{\infty}=8,5$ m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s (lihat gambar 11 di bawah) diperoleh bahwa besar kecepatan angin yang diberikan, dan torsi yang didapat juga makin membesar.



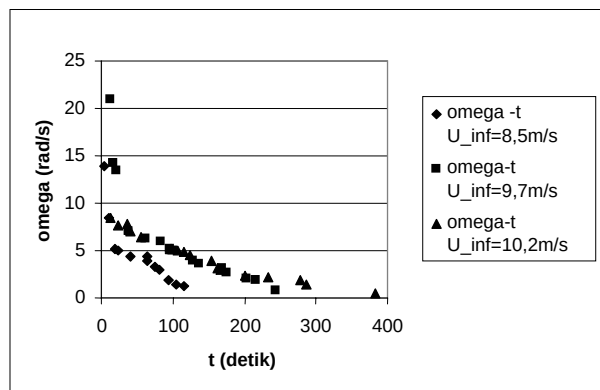
Gambar (11): Perbandingan Torsi yang diperoleh pada 3 variasi kecepatan. angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s untuk SKEA dengan rasio panjang silinder terhadap diameter silinder (L/D) = 4.

Hal yang sama juga diperoleh pada rasio sudu silinder $L/D=3$, (lihat Gmbar 12 di bawah).



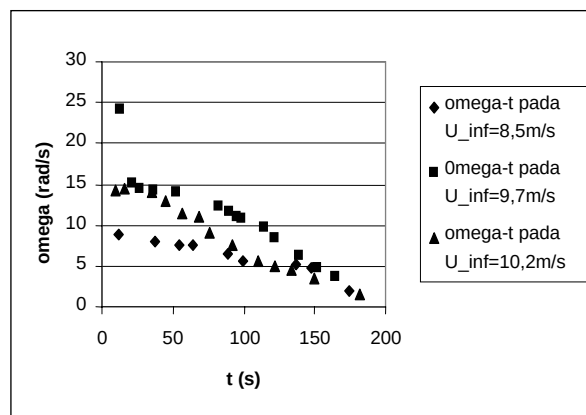
Gambar (12): Perbandingan Torsi yang diperoleh pada 3 variasi kecepatan. angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s untuk SKEA dengan rasio panjang silinder terhadap diameter silinder (L/D) = 3.

Dari hasil eksperimen didapat kecepatan putar dengan rasio sudu silinder $L/D=4$ akan mengecil dengan bertambahnya waktu, dan nilai kecepatan putar akan bertambah besar dengan bertambahnya kecepatan angin yang diberikan (lihat gambar 13).



Gambar (13): Perbandingan kecepatan putar SKEA dengan rasio panjang silinder terhadap diameter silinder (L/D) = 4 yang diperoleh pada 3 variasi kecepatan.angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s

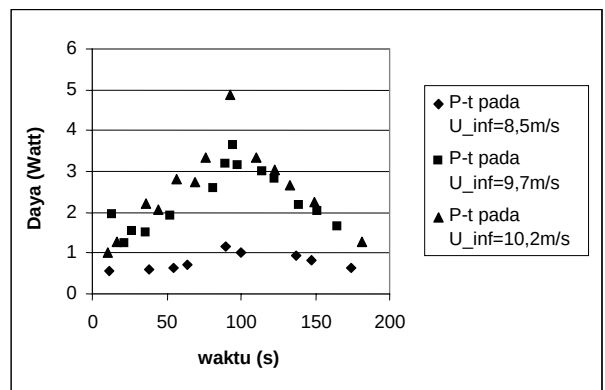
Analisa hasil yang sama juga diperoleh untuk rasio sudu silinder $L/D=3$ (lihat gambar 14 di bawah).



Gambar (14): Perbandingan kecepatan putar SKEA dengan rasio panjang silinder terhadap diameter silinder (L/D)=3 yang diperoleh pada 3 variasi kecepatan.angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s

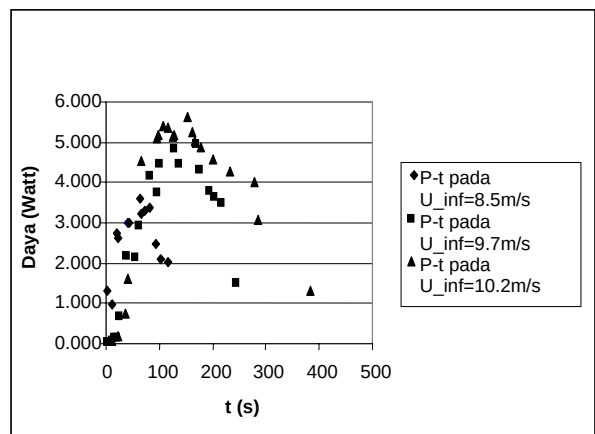
Besarnya Daya yang diperoleh pada rasio sudu silinder $L/D = 3$ akan ditampilkan pada gambar 15.

Karena daya adalah besar torsi yang diperoleh dikalikan dengan kecepatan putarnya, maka akan terlihat bahwa makin besar kecepatan angin yang diberikan, maka daya yang diperoleh juga akan makin membesar.



Gambar (15): Perbandingan Daya SKEA dengan rasio panjang silinder terhadap diameter silinder (L/D) = 3 yang diperoleh pada 3 variasi kecepatan.angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s

Analisa yang sama juga didapatkan pada rasio sudu silinder $L/D = 4$ (lihat gambar 16). Makin tinggi kecepatan angin yang diberikan, daya yang diperoleh juga akan makin besar.

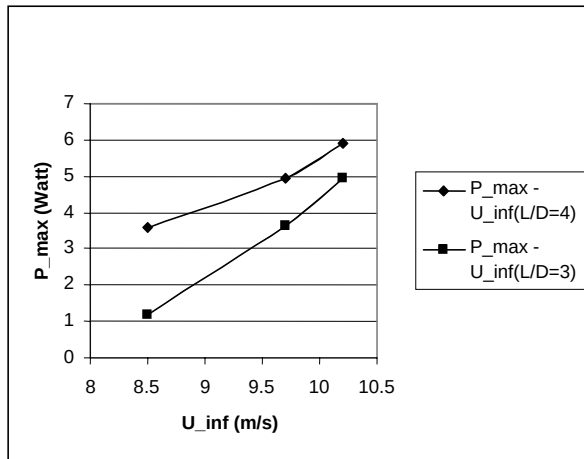


Gambar (16): Perbandingan Daya SKEA dengan rasio panjang silinder terhadap diameter silinder (L/D) = 4 yang diperoleh pada 3 variasi kecepatan.angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s

Perbandingan Daya maksimum yang dapat diperoleh dari 2 variasi rasio sudu silinder $L/D=3$ dan $L/D=4$ terhadap berbagai variasi kecepatan angin dapat dilihat pada gambar (17) di bawah ini.

Dari hasil eksperimen, didapatkan bahwa daya maksimum yang dapat dicapai akan membesar jika kecepatan angin juga membesar.

Daya maksimum yang diperoleh juga akan bertambah dengan bertambahnya rasio sudu silinder.

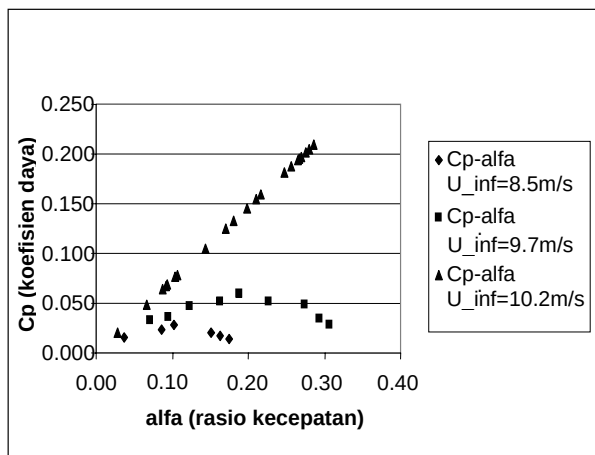


Gambar (17): Perbandingan Daya maksimum SKEA yang diperoleh pada rasio panjang silinder terhadap diameter silinder ($L/D = 4$ dan $L/D = 3$ dengan 3 variasi kecepatan angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s

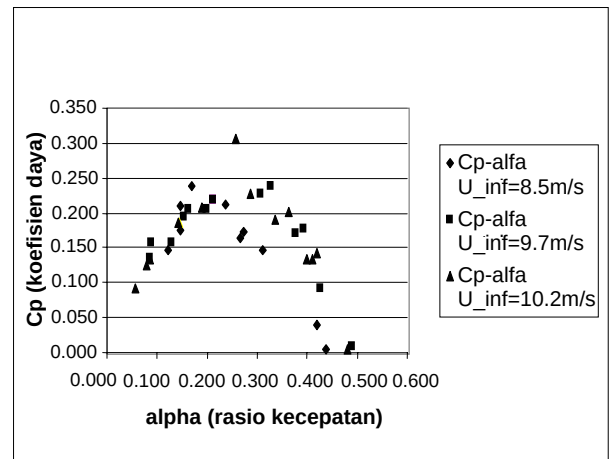
Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, karakteristik suatu SKEA ditentukan dengan hubungan antara parameter-parameter tak berdimensi yaitu koefisien daya, C_p dan rasio kecepatan α .

Dari hasil eksperimen diperoleh pada rasio sudu silinder $L/D = 3$ dan rasio $L/D = 4$ sama-sama menunjukkan bahwa kecepatan angin makin besar, koefisien daya yang diperoleh juga akan makin bertambah (lihat gambar 18 dan 19).

Gambar (18) dan (19) juga menunjukkan bahwa koefisien daya akan bertambah dengan bertambahnya rasio sudu silinder.



Gambar (18): Perbandingan Koefisien Daya SKEA (C_p) yang diperoleh terhadap rasio kecepatan (α) pada rasio panjang silinder terhadap diameter silinder ($L/D = 3$ dengan variasi kecepatan angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s



Gambar (19): Perbandingan Koefisien Daya SKEA (C_p) yang diperoleh terhadap rasio kecepatan (α) pada rasio panjang silinder terhadap diameter silinder ($L/D = 4$ dengan variasi kecepatan angin: 8,5 m/s, 9,7 m/s, dan 10,2 m/s



Gambar (20): Model SKEA poros datar dengan sudu gabungan silinder dan rotor savonius pada saat berputar

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari percobaan ini adalah:

1. Model SKEA poros datar dengan sudu-sudunya berbentuk kombinasi silinder dan rotor savonius ini dapat berputar saat diuji di dalam terowongan angin.
2. Torsi yang diperoleh model SKEA sangat bergantung pada kecepatan angin yang diberikan dan rasio sudu silinder, makin tinggi kecepatan angin, makin besar torsi yang diperoleh. Demikian juga makin besar rasio sudu silinder, torsi yang dihasilkan juga makin besar.
3. Kecepatan putar SKEA sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin yang diberikan dan rasio sudu silinder. Kecepatan putar SKEA akan bertambah dengan bertambahnya kecepatan angin dan rasio sudu silinder yang diberikan.

4. Daya maksimum yang dapat dicapai akan bertambah besar dengan meningkatnya rasio sudu silinder dan kecepatan angin yang diberikan.
5. Koefisien daya (C_p) model SKEA poros datar dengan sudu berbentuk gabungan silinder dan rotor savonius ini akan meningkat dengan meningkatnya rasio kecepatan.
6. Model SKEA poros datar dengan sudu berupa gabungan silinder dan rotor savonius ini dapat diterapkan sebagai alternatif pengganti sudu airfoil di daerah-daerah karena sesuai dengan teknologi setempat.
5. Queru, Gautier, "Integration de l'energie Eolienne dans le batiment: Etude de dispositifs concentrateurs de vent", *Projet de fin d'etudes*, 2002.
6. N. Fujizawa, F. Gotoh, "Experimental Study on the Aerodynamic Performance of a Rotor Savonius", 1994.
7. T. Tokumaru, P.E. Dimotakis, "The Lift of a Cylinder Executing Rotary Motions in a Uniform Flow", *J. Fluid Mech.*, vol. 225, pp. 1-10, 1993.
8. Bono, Fraunie, Bequier, Favre, "Optimization d'une Eolienne a Cylindres Tournants", *CRAS*, t.301, seri II, no.6, pp. 363-366, 1985.
9. Sanjay Mittal B., Kumar Bhaskar, "Flow Past a Rotating Cylinder", *J. Fluid Mech.*, vol. 476, pp. 303-334, 2003.
10. Jean Martin, "Energy Eolienne", *L'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Metiers*, Article B 8585, vol. BE, consultable jusqu'au 2004.
11. Sahin A.Z., Al-Garni A.Z., Al-Farayedhi A., "Analysis of a Small Horizontal Axis Wind Turbine Performance", *Int. J. of Energy Res.*, vol.25, pp. 501-506, 2001.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. H.R. Vaughn and G.E. Reis, "A Magnus Theory", *AIAA Journal*, vol.11, no. 10, pp. 1397-1403, 1973.
2. Park, Jark, "Simplified Wind Power Systems for Experimenter", *California Helion, Inc.*, 1976.
3. Eldridge, Frank. R, "Wind Machines", New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1980.
4. D. Le Gourieres, "Wind Power Plants: Theory and Design", 1982.