

PENELITIAN KARAKTERISTIK AERODINAMIKA SAVONIUS BERSUDU BANYAK DENGAN METODA PENGGESERAN MESH

Agus Arlbowo
Peneliti Unit Uji Aerodinamika. LAPAN

ABSTRACT

Rotation of Savonius blades could be simulated using Sliding Mesh method. The effective solution can be obtained by interfacing between moving zone and fixed zone by coordinating the linked cell. The number of tested blades 2, 3, 4, and 6. The result is the Savonius turbine with 3 blades having torque coefficient higher and efficiency level compared with the other blades. The spacing of blade axis makes air flow infiltrate and causes an increase of force moment and negative drag force. By increasing the number of blades will result in the reduction of negative and positive force between one blade to the other. As a result, the performance will be reduced due to the increased number of blades.

ABSTRAK

Perputaran sudu Savonius dapat disimulasikan dengan menggunakan metoda penggeseran *mesh*. Dengan koordinasi antar sel pada *interface* antara zona putar dan zona tetap, terdapat satu koordinasi solusi yang tepat. Kincir Savonius yang telah diuji adalah sudu 2, 3, 4, dan 6. Diperoleh hasil bahwa Savonius sudu 3 mempunyai koefisien momen rata-rata dan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang kincir sudu lainnya. Kerenggangan pada poros sudu kincir menjadikan aliran dapat menerobos dan menimpa sudu dibelakang poros dan ini akan meningkatkan gaya momen serta menambah gaya hambat negatif pada sudu tersebut. Jumlah sudu yang banyak akan mengakibatkan saling reduksi gaya positif dan negatif antara satu sudu dengan sudu lainnya. Akibatnya, performasinya akan menurun seiring dengan penambahan jumlah sudu tersebut.

Kata kunci; *Energi Angin, Savonius, Koefisien Momen, Sliding Mesh*

1 LATAR BELAKANG

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang cukup mendapat sambutan positif dari masyarakat saat ini. Peningkatan pemakaian energi yang berlebihan menyebabkan terjadinya kelangkaan bahan bakar minyak bumi di seluruh dunia. Akibat dari itu, terjadi akselerasi penciptaan energi alternatif yang dapat menggantikan posisi minyak bumi sebagai bahan bakar primer. Salah satunya adalah pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh angin. Teknologi energi angin merupakan teknologi konversi dari putaran kincir akibat sapuan angin menjadi energi dan dengan bantuan generator akan menghasilkan energi listrik atau dengan memutar pompa

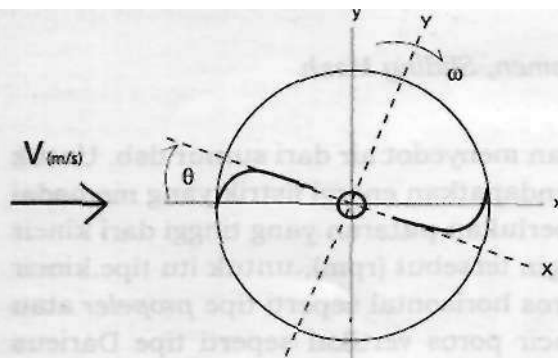
akan menyedot air dari sumur dsb. Untuk mendapatkan energi listrik yang memadai diperlukan putaran yang tinggi dari kincir angin tersebut (rpm), untuk itu tipe kincir poros horisontal seperti tipe *propeler* atau kincir poros vertikal seperti tipe Darieus sangat populer di masyarakat. Di sisi lain, untuk pemompaan air, diperlukan momen putar [*torque*] yang besar. Salah satu contoh adalah kincir angin pemompa air bertipe sudu banyak yang populer di Amerika atau kincir angin Savonius yang mempunyai poros vertikal.

Di Indonesia, banyak daerah yang relatif bersuhu panas dan minim air pertaniannya cukup relevan untuk mengadopsi teknologi Savonius sebagai pemompa air misalnya di daerah persawahan.

Kincir Savonius secara efisiensi masih kurang dibanding dengan tipe kincir lainnya. Kelebihannya hanya pada proses pembuatannya yang tergolong sederhana, ditambah dengan kinerja putarnya yang tidak terpengaruh oleh arah mata angin.

Penelitian mengenai Savonius banyak dilakukan secara teoritis dan eksperimen. Beberapa analisa hanya mampu menyimpulkan efisiensi sudu Sttara imum dan tidak secara spesifik. Ada beberapa tulisan yang menggunakan simuJasi numerik kontinuitas. Hanya saja penelitian mendalam mengenai efek aliran dan korelasinya terhadap jumlah sudu, faktor kerenggangan antar sudu, faktor kelengkungan sudu dan sebagainya belum banyak yang mengupasnya. Untuk itu, pada penelitian ini, dilakukan analisa secara numerik melalui simulasi CFD 2-Dimensi. Bagaimana kelakuan aliran di sekitar sudu saat kincir berputar dengan menggunakan metoda pergeseran mesh dibahas dalam tulisan ini. Juga mengenai besarnya gaya momen yang dihasilkan oleh masing-masing sudu saat berputar dibahas dalam tulisan ini.

2 KONTINUITAS ALIRAN

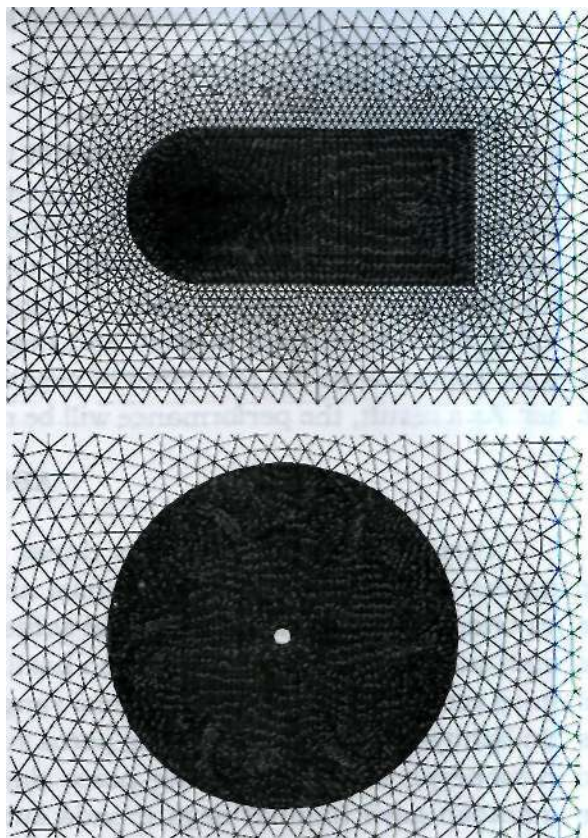


Gambar 2-1 : Koordinat kincir Savonius

Simulasi numerik yang dilakukan disini menggunakan grid tak berstruktur dengan menggunakan teori MAC (Marker and Cell), dengan referensi faktor turbulensi standar (RNG) untuk kecepatan tak terkompres.

Sudu kincir mendapat gaya dorong dari angin yang menerpanya, kemudian berputar dengan rotasi radial tetap sebesar ω (untuk menghitung torque statik

$\omega = 0$). Untuk memenuhi kondisi batas pada permukaan sudu, di ambil poros z sebagai poros berputarnya. Pada poros z, kincir berputar dengan kecepatan ω dan poros koordinat (X, Y, z).



Gambar 2-2: (a) Gambar domain seluruhnya dan (b) Pembesaran domain disekitar kincir

Teori dasar numerik menggunakan teori kontinuitas dan persamaan Navier-Stokes sbb :

$$\nabla \cdot v = 0 \tag{2-1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (v \cdot \nabla)U - \omega^2 X + 2\omega V = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \nabla^2 U \tag{2-2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (v \cdot \nabla)V - \omega^2 Y + 2\omega U = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \nabla^2 V \tag{2-3}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + (v \cdot \nabla)w = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{Re} \nabla^2 w \tag{2-4}$$

Dengan, $v = (U, V, w)$ merupakan kecepatan pada koordinat rotasional $\nabla = (\partial/\partial X, \partial/\partial Y, \partial/\partial z)$. Kemudian antara poros koordinat tetap (x, y, z) dan koordinat rotasional yang berputar dengan kecepatan $\theta = \omega t$ diperoleh persamaan :

$$X = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (2-5)$$

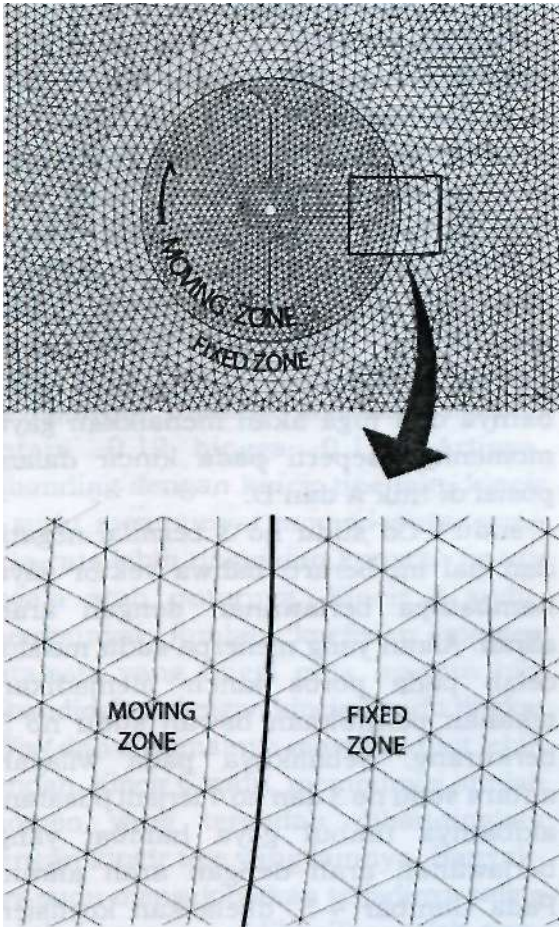
$$Y = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (2-6)$$

Untuk faktor kecepatan, dari referensi kecepatan pada koordinat tetap (u, v, w) didapat persamaan :

$$U = u \cos \theta - v \sin \theta - \omega Y \quad (2-7)$$

$$V = v \sin \theta + u \cos \theta + \omega X \quad (2-8)$$

3 METODA PERGESERAN MESH



Gambar 3-1: Domain pergeseran Mesh

Mesh yang digunakan merupakan kombinasi 3 bagian kelompok mesh, yaitu domain aliran bagian luar mempunyai faktor kerenggangan 1, domain olahan dengan faktor kerenggangan 0.02 dan domain putar dengan faktor kerenggangan 0.01. Hal ini dimaksudkan untuk penghematan waktu hitung dan iterasi. Pada Gambar 3-1 menunjukkan mesh

domain seluruh wilayah perhitungan dan gambar pembesaran disekitar kincir.

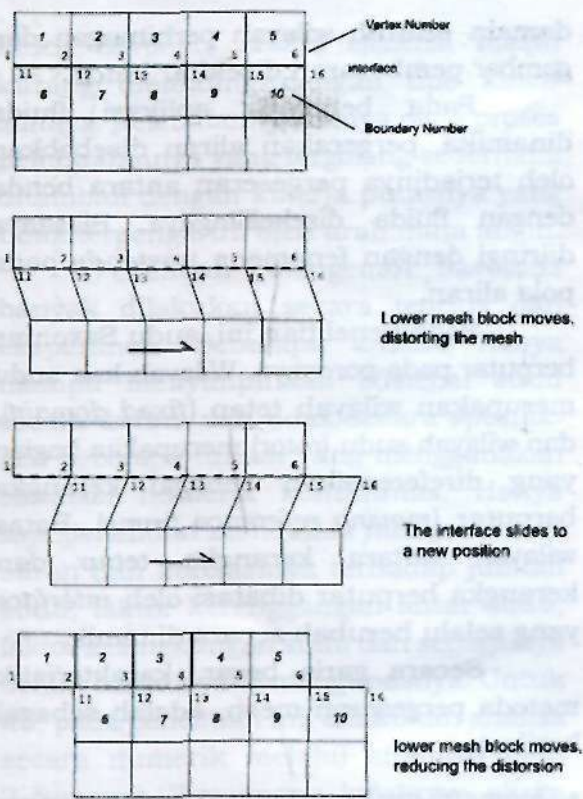
Pada beberapa aplikasi fiuida dinamika, pergerakan aliran disebabkan oleh terjadinya pergeseran antara benda dengan fiuida disekelilingnya. Biasanya diiringi dengan fenomena *unsteady* pada pola aliran.

Pada penelitian ini, sudu Savonius berputar pada porosnya. Wilayah luar sudu merupakan wilayah tetap (*fixed domain*), dan wilayah sudu (rotor) merupakan bagian yang direferensikan sebagai kerangka berputar (*moving reference frame*). Batas wilayah antara kerangka tetap dan kerangka berputar dibatasi oleh *interface* yang selalu berubah secara dinamik.

Secara garis besar, karakteristik metoda pergeseran mesh, adalah sebagai berikut

- Geometri muka setiap sel pada *interface* pergeseran pada umumnya teridentifikasi.
- Di sini terjadi persesuaian satu lawan satu setiap waktu antara muka sel yang saling berlawanan pada wilayah *interface* pergeseran.
- Proses komputasi berlangsung secara serempak di seluruh wilayah perhitungan baik di wilayah *fixed zone* maupun di wilayah *moving zone*.
- Solusi dapat dimulai dari semua kondisi awal.

Gambar 3-2 adalah ilustrasi penggeseran mesh berdasar referensi manual fluent 6.1. Karena pergeseran *moving zone*, maka mesh pada domain tersebut melakukan distorsi secara otomatis. Apabila jarak *node* dengan *node* pada *interface* terdekat lebih dekat dibanding dengan jarak dengan *node* sebelumnya maka *interface* akan berpindah pada posisi yang baru walaupun masih ada penyimpangan. Disamping itu pengurangan penyimpangan yang ada dan mesh baru pun terbentuk.



Gambar 3-2: Ilustrasi penggeseran Mesh

4 HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan *software* CFD Fluent 6.2, untuk kincir Savonius sudu 2, 3,4, dan 6 pada kecepatan aliran $V = 5 \text{ m/s}$ dengan perputaran sudu pada porosnya per menit = 3 RPM.

Gambar 4-2, merupakan keefisien gaya hambat C_d dan momen C_m hasil dari perhitungan diferensial tekanan pada permukaan masing masing sudu. Hasil yang didapat pada kincir, adalah

- 2 sudu : C_d pada sudu no. 2 lebih besar dari C_d sudu no. 1. Seiring dengan itu koefisien momen sudu no 2 menjadi besar tetapi mempunyai arah putar yang berlawanan dengan arah perputaran kincir yang semestinya (searah jarum jam). Akibat hampir seimbang gaya momen antara keduanya, kincir 2 sudu dengan posisi seperti ini mempunyai potensi berbalik arah akibat delta momen putar sangat kecil.
- 3 sudu : C_m pada sudu no 1 dan 2 adalah 0.201, kontra C_m sudu no 3 sebesar 0.094. Total C_m adalah 0.107.

C_d sudu no 3 paling besar, akibat dari pusaran kuat yang masih menggelayuti sudu no 3 pada posisi tersebut. Tetapi gaya momen sudu no 1 dan 2 dapat menyeimbangi prosentasi torsi yang dihasilkan. Pada Gambar 4-3 terlihat koefisien gaya dalam satu putaran kontinu dari kincir sudu 3 dengan visualisasi tiap-tiap titik kritikal dari gaya momen yang dihasilkan. Pada titik B dan C, kincir mempunyai gaya momen paling kecil akibat pusaran kuat yang menempel pada permukaan bawah sudu, sehingga mengakibatkan melonjaknya gaya hambat sudu dan yang pasti akan meningkatkan gaya momen yang berlawanan arah dengan arah putar kincir. Namun, seiring dengan berputarnya kincir, pusaran yang kuat tersebut akan terlepas dari permukaan bawah sudu dan hal itu akan mengurangi gaya hambatnya dan juga akan menaikkan gaya momennya seperti pada kincir dalam posisi di titik A dan D.

- 4 sudu : C_d sudu no 3 bernilai negatif dan hal ini berarti bahwa vektor gaya hambatnya berlawanan dengan arah aliran. Aliran yang menerpa sudu melalui celah pada poros kincir menjadikan tekanan permukaan bawah sudu no 3 berkurang. Sebaliknya pada wilayah antara sudu no 3 dan no 4 terjadi pusaran, akibatnya timbul gaya hambat yang berlawanan arah dengan arah aliran. Pada Gambar 4-5, dijelaskan koefisien tekanan C_p pada permukaan atas dan bawah sudu pada posisi kincir seperti pada Gambar 4-4. Permukaan atas sudu no 4 mempunyai C_p lebih besar dibandingkan dengan permukaan bawahnya. Hal ini mengakibatkan gaya hambat sudu no 4 menjadi lebih besar (Gambar 4-2c) dibandingkan dengan sudu lainnya.
- 6 sudu : Pada Gambar 4-2, sudu no 5 mempunyai gaya hambat paling besar, Juga gaya momen yang berlawanan arah dengan putaran kincir paling besar. Tetapi secara total, gaya momen tersebut di eliminasi dengan total gaya momen dari sudu no 1, 3, dan 4. Sudu no 1 mendapat *effort* dari aliran yang mengalir

mclalui celah poros kincir, yang mengakibatkan kecepatan aliran pada permukaan bawah sudu no 1 meningkat. Hal ini menyebabkan terjadi penambahan gaya momen walaupun terjadi pula penambahan gaya hambat negatifnya.

Pada Gambar 4-1, diperlihatkan perbedaan koefisien momen seluruh sudu yang di uji pada penelitian ini. Kincir 2 sudu, tampak mempunyai nilai koefisien momen yang ekstrim. Pada posisi tertentu (sudut serang tertentu) diperoleh Cm yang paling besar dibandingkan dengan sudu lainnya, namun di posisi lain, kincir ini mempunyai momen total mendekati nol dan positif. Posisi ini merupakan potensi kincir berputar berbalik arah yang berlawanan dengan arah putaran kincir yang sebenarnya. Kincir 3 sudu, mempunyai jumlah koefisien momen antara -0.12 hingga -0.175. Artinya, dibanding dengan kincir tipe lain, kincir 3 sudu mempunyai momen putar yang rata-rata lebih tinggi dan konstan untuk segala arah putarnya. Kincir 4 sudu, mempunyai jumlah koefisien momen rata-rata yang tinggi pula, namun bila dibandingkan dengan kincir 3 sudu tingkat *effort* dan elisiensi masih sedikit lebih rendah. Kincir 6 sudu, mempunyai jumlah momen yang terendah dibandingkan dengan kincir tipe yang lainnya. Banyaknya sudu mengakibatkan terjadinya saling reduksi gaya yang dihasilkan oleh tiap-tiap sudu dengan sudu-sudu yang lainnya. Akibatnya, performansi kincir tipe ini menjadi lebih rendah.

5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut

- Momen putar rata-rata kincir sudu 3, paling optimal.
- Kincir 2 sudu mempunyai koefisien momen yang ekstrim dan pada posisi sudut serang tertentu, mempunyai kemungkinan berbalik arah dari arah putar yang sebenarnya.

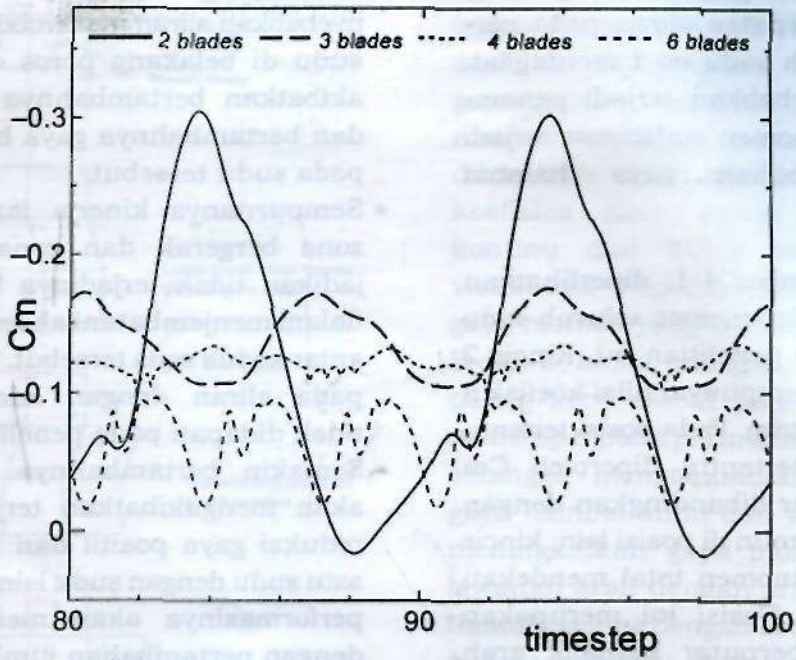
- Kerenggangan pada poros kincir menyebabkan aliran menerobos dan menerpa sudu di belakang poros dengan mengakibatkan bertambahnya gaya momen dan bertambahnya gaya hambat negatif pada sudu tersebut.
- Sempurnanya kinerja *interface* antara zona bergerak dan zona tetap, menjadikan tidak terjadinya keterlambatan dalam menjembatani akses transfer kode antar kedua zona tersebut. Efek gangguan pada aliran dengan adanya *interface* tidak didapati pada penelitian ini.
- Semakin bertambahnya jumlah sudu akan mengakibatkan terjadinya saling reduksi gaya positif dan negatif antara satu sudu dengan sudu lainnya, Akibatnya, performasinya akan menurun seiring dengan pertambahan jumlah sudu.

UCAPAN TERIMA KASIH

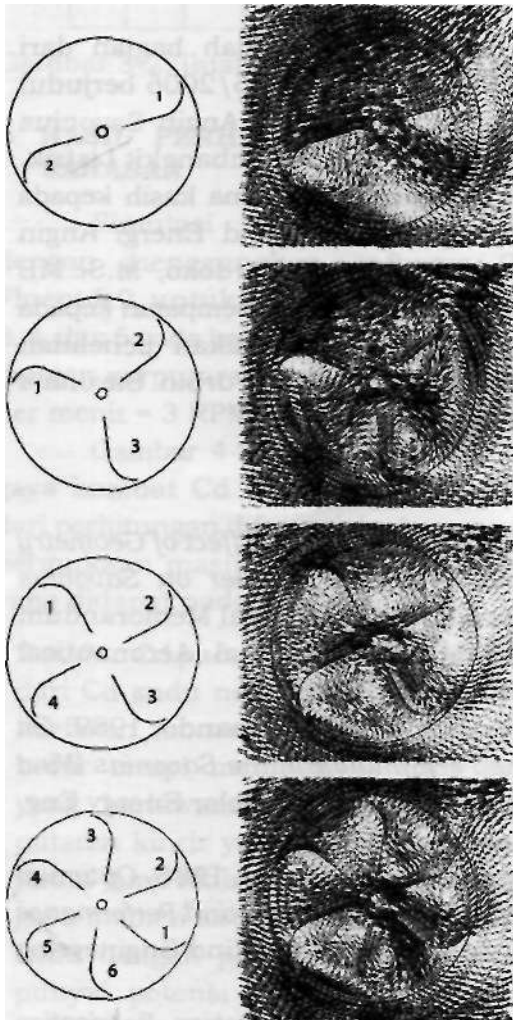
Penelitian ini adalah bagian dari proyek RUKK LAPAN 2005/2006 berjudul Rancang Bangun Turbin Angin Savonius "Double Action" untuk Pembangkit Listrik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bpk Drs. Soeripno, Kabid Energi Angin LAPAN dan Sdr. Arif Hardoko, M.Sc.ME yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian dan perancangan sudu Turbin Savonius *Double Action*.

DAFTAR RUJUKAN

- P.N. Shankar, 1976. *The Effect of Geometry and Reynolds Number on Savonius Type Rotors*, Technical Memorandum AE-TM-3-76, National Aeronautical Laboratory Bangalore.
- Modi, V. J. and M. S. Fernando, 1989. *On the Performance of the Savonius Wind Turbine*, Journal of Solar Energy Eng. Vol. 111,71-81.
- Ushiyama, I. and H. Nagai, 1988. *Optimum Design Configurations and Performance of Savonius Rotors*. Wind Engineering Vol. 12 No. 1,59-75.
- Pruwadi, T. et al., 1985. *Design, Fabrication and Testing of a 2-2 Blade Savonius type wind rotor*. TIATC, Japan.
- NN, 2003. *Manual Fluent 6.1*, Fluent Incorporation.



Gambar 4-1: Koefisien Moment (C_m) pada kecepatan angin $V = 5 \text{ m/s}$, $\text{RPM} = 3$



Blade	1	2	3	4	5	6
C_d	0.254	0.298	-	-	-	-
C_m	-0.12	0.11	-	-	-	-

a) Koef. Gaya pada Kincir 2 Sudu

Blade	1	2	3	4	5	6
C_d	0.042	0.277	0.355	-	-	-
C_m	-0.113	-0.088	0.094	-	-	-

b) Koef. Gaya pada Kincir 3 Sudu

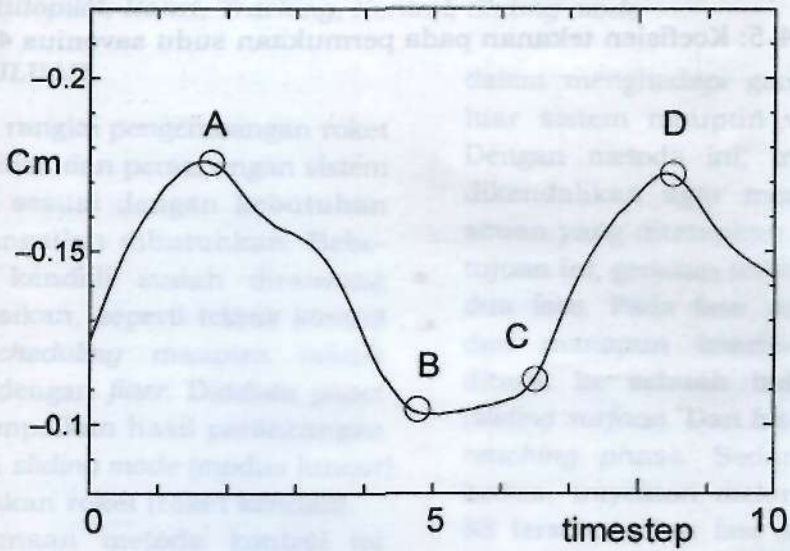
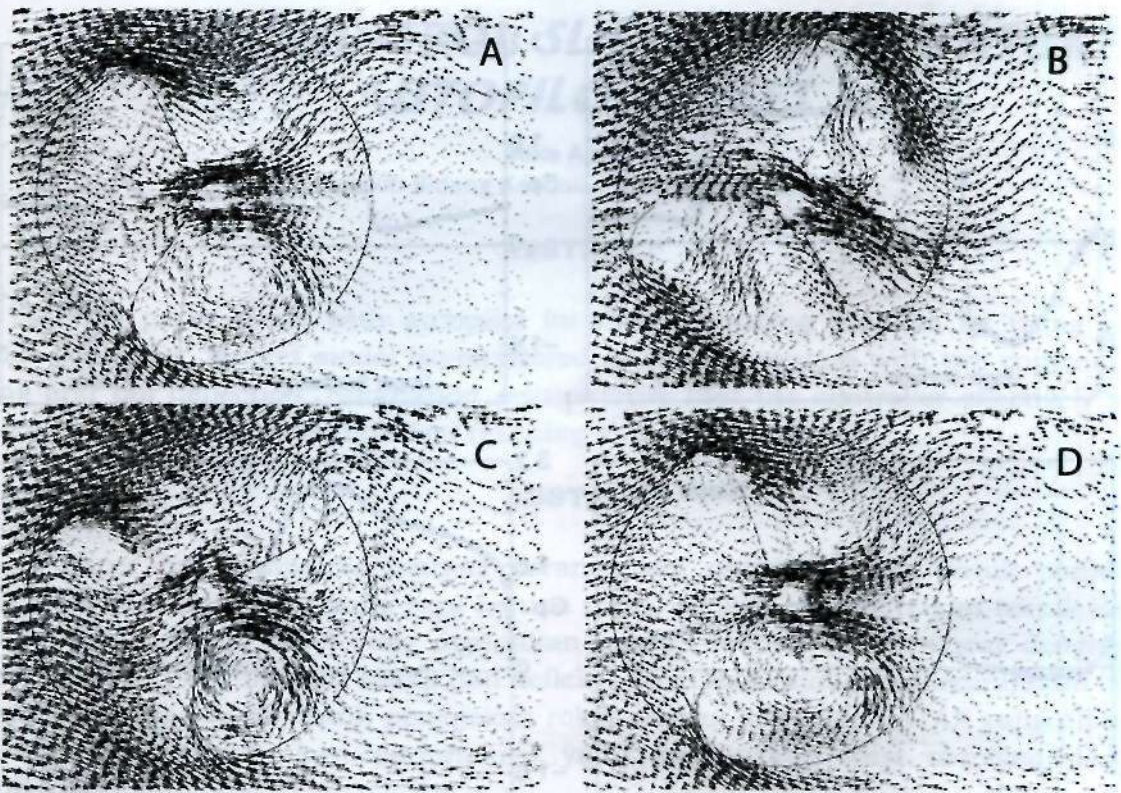
Blade	1	2	3	4	5	6
C_d	0.431	0.114	-0.103	0.592	-	-
C_m	-0.267	-0.037	-0.052	0.239	-	-

(c) Koef. Gaya pada Kincir 4 Sudu

Blade	1	2	3	4	5	6
C_d	-0.105	-0.025	0.419	0.109	0.531	0.217
C_m	-0.084	0.008	-0.133	-0.131	0.233	0.065

(d) Koef. Gaya pada Kincir 6 Sudu

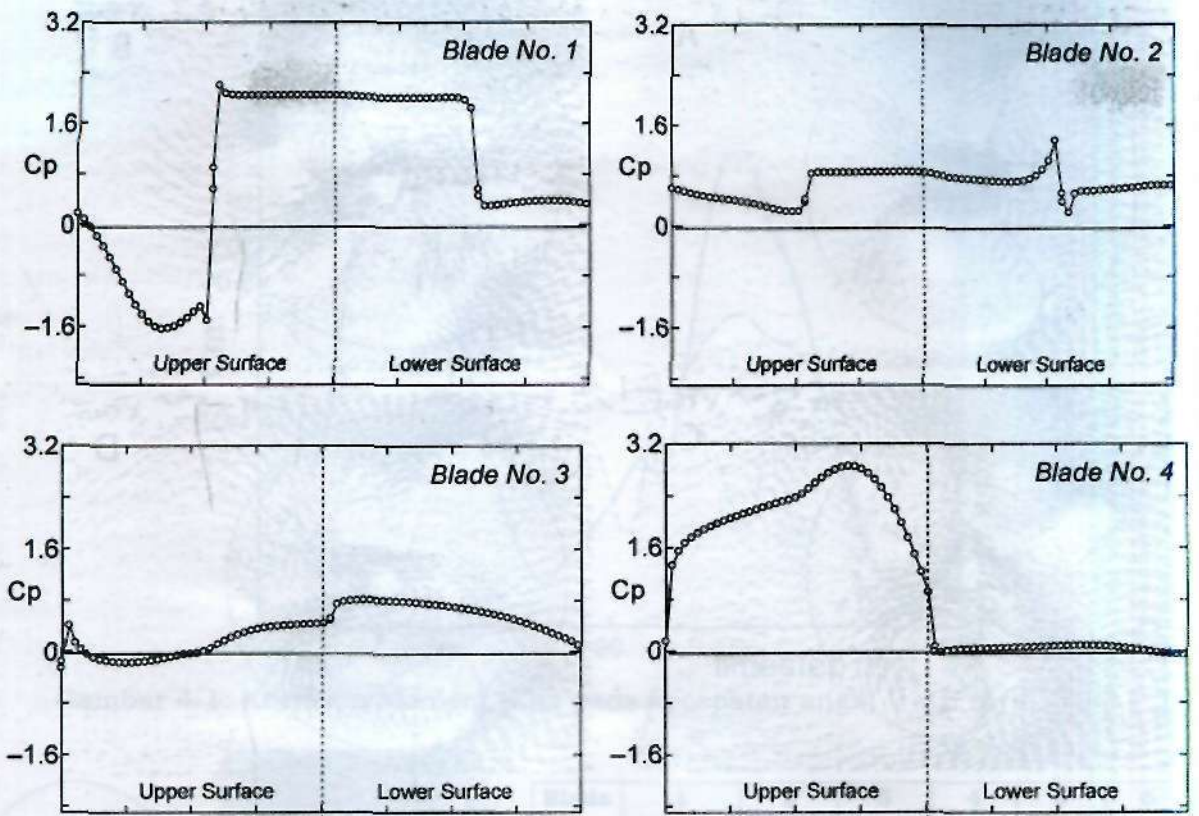
Gambar 4-2: Koefisien gaya hambat C_d dan Koefisien momen C_m pada kecepatan aliran $V = 5 \text{ m/s}$, $\text{RPM} = 3$. Simbol Negatif (-) pada C_m adalah arah momen searah dengan arah jarum jam, dan Simbol negatif pada C_d adalah arah gaya berlawanan dengan arah aliran. Pada gambar ini arah aliran positif adalah dari kiri ke kanan kincir



Gambar 4-3: Savonius 3 sudu dalam visualisasi vektor kecepatan aliran, Koefisien gaya momen C_m dalam satu putaran (360 deg)



Gambar 4-4 : Visualisasi aliran Savonius sudu 4 pada $V = 5 \text{ m/s}$, $\text{RPM} = 3$



Gambar 4-5: Koefisien tekanan pada permukaan sudu savonius 4 sudu