

## Karakterisasi Aliran Hilir Kipas Aksial sudu Datar Variasi Span Sudu dan Sudut Serang

Joko Waluyo

Program Diploma Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UGM

Sutrisno

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UGM

### *Abstract*

*The velocity field downstream of an axial fan was measured using probe 55 P 51 of a Hot Wire Anemometer to investigate characteristic of the flow. Flat blades were varied in length of blade's span and angle of attack. The length of blade's span was varied at 0.3, 0.5, 0.75 and 1 times of 450 mm, at various angles of attack at 5°, 10° and 15°, while it was operated at constant speed of 610 rpm. The measurement was conducted at vertical distances 210, 360, 510 and 660 mm from the fan.*

*The investigation was focused on the mean velocity in axial and tangential directions at measurement position 210 mm. Properties of the flow were computed based on integration of Reynolds momentum and continuity equations for determining flux of axial and angular momentum. The performance of the axial fan was determined by comparing values of torque, thrust, volume rate and consumed power. The swirling number of the flow was also calculated as a consideration to determine performance of the axial fan.*

*Results indicate that operating the axial fan in variation blade's span have significant effect to the value of axial and tangential mean velocities and the area of flow, meanwhile variation in angle of attack just influence to the value of axial and tangential mean velocities. Increasing of blade's span at constant angle of attack if increases volume rate, torque, and thrust of flow and consumed power of the fan. Investigation of increasing angle of attack at span blade 450 mm also increases those values. Span blade 450 mm at angle of attack 15° have a highest performance and consumed power. It can be shown also that swirling increase with respect to increase of angle of attack.*

*Keywords: velocity field downstream axial flow fan, span's blade, angle of attack.*

### Pengantar

Pada aplikasi industri dan keseharian sering digunakan kipas aksial untuk menghisap maupun mengalirkan gas maupun udara. Putaran kipas aksial menghasilkan aliran semburan jet *swirling* dengan kecepatan tangensial disamping komponen aliran aksial dan radial. Aliran ini tergantung dari karakteristik dan orientasi sudu kipas aksial. Aliran *swirling* di sisi hilir kipas aksial menyembur dan selanjutnya mengembang ke fluida sekitarnya, membentuk suatu gerakan fluida yang berskala besar. Karakteristik aliran *swirling* yang dihasilkan oleh kipas aksial menarik

dikaji lebih jauh untuk lebih dapat memberdayakan sifat aliran yang dihasilkannya.

Suatu Aliran *swirling* fluida ditandai dengan adanya aliran arah tangensial di samping aliran aksial dan radial, yang membedakannya dengan aliran non *swirling*. Salah satu manfaat aliran yang sudah diaplikasikan adalah pada pemakaian sistem pembakar (burner) untuk meningkatkan kualitas pembakaran di ruang bakar.

Waluyo (2002), melakukan pengamatan aliran *swirling* yang dihasilkan oleh kipas aksial yang kelengkungan sudunya divariasikan dengan jari-jari 53, 83, dan 113 mm. Pengujian kipas tersebut dilakukan pada empat harga sudut serang

yaitu 5°, 10°, 15° dan 20°. Analisa hasil didasarkan pada hitungan fluks momentum aksial dan sudut yang dihitung untuk mendapatkan parameter debit, torsi, gaya dorong dan angka *swirl* aliran. Hasilnya pada pengoperasian kipas dengan sudu berjari-jari kelengkungan 53 mm diperoleh harga maksimal debit, torsi, gaya dorong aliran pada sudut serang 15°. Sedang pada pengoperasian kipas aksial dengan sudut serang tetap 10° harga-harga tersebut menurun untuk jari-jari kelengkungan sudu 53, 83 dan 113mm.

Sutrisno (2000), melakukan penyelesaian matematis model aliran aksisimetrik dengan komponen aliran aksial, tangensial dan radial diasumsikan mengikuti sebaran Gauss. Dari hasil yang juga divalidasi dengan pengukuran menunjukkan faktor *swirling* sangat signifikan mempengaruhi kecepatan radial serta sedikit mempengaruhi tekanan, kecepatan tangensial dan kecepatan aksial.

Petersson dkk, (1996) melakukan pengukuran *Laser Doppler Velocimeter* (LDV) sisi hilir kipas aksial di dalam tangki persegi dengan media air. Aliran cenderung mengembang konstan pada berbagai putaran. Angka *swirl* membesar dengan kenaikan putaran.

## Dasar Teori

Aliran sisi hilir kipas aksial dikategorikan sebagai aliran turbulen dengan *swirling*. Analisa terhadap aliran turbulen dengan *swirling* dibahas dengan dua cara. Cara pertama dianalisa dengan menganggap pola yang sama antara kecepatan aksial dan tangensial dan kemudian mengakomodasikan ke dalam kecepatan radial pada syarat batas aliran (Shao Lin Lee, 1965), sedangkan cara kedua dengan mengaplikasikan konsep similaritas pada integrasi persamaan momentum Reynold (Chigier dan Chervinsky, 1967). Penelitian ini menggunakan penjabaran cara kedua untuk menghitung fluks momentum aksial dan momentum sudut yang kemudian diterjemahkan sebagai gaya dorong dan torsi aliran. Perbandingan non dimensional dari torsi dan gaya dorong aliran menghasilkan angka *swirl* aliran (Petersson dkk, 1996).

Persamaan konservasi massa dan persamaan momentum arah radial, tangensial dan aksial

Navier Stokes sistem koordinat silindris untuk aliran *inviscid*, aksisimetrik dan *steady* pada fluida *incompressible*, dengan substitusi dari *averaging*  $\rho = \bar{\rho} + \rho'$ ,  $P = \bar{P} + P'$ ,  $u = \bar{u} + u'$ ,  $v = \bar{v} + v'$  dan  $w = \bar{w} + w'$ , dinyatakan dengan:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\bar{r}u) + \frac{\partial}{\partial r}(\bar{r}v) = 0 \quad (1)$$

$$-\frac{\bar{w}^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial r} - \frac{\partial}{\partial r} \bar{v}^2 - \frac{\bar{v}'^2}{r} + \frac{\bar{w}'^2}{r} \quad (2)$$

$$u \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + v \frac{\partial \bar{w}}{\partial r} + \frac{\bar{v}w}{r} = -\frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial r} - 2 \frac{\bar{v}'w'}{r} \quad (3)$$

$$u \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + v \frac{\partial \bar{u}}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} - \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial r} - \frac{\partial \bar{u}'}{\partial z} - \frac{\bar{u}'v'}{r} \quad \dots(4)$$

Chigier dan Chervinsky 1967, menyatakan bahwa syarat batas untuk aliran simetris dan dilingkungi oleh fluida stasioner bebas yang tidak terusik, adalah sebagai berikut :

Pada  $r = 0$ , berlaku

$$\bar{v} = \bar{w} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial r} = \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \bar{v}'w' = 0$$

dan  $r = \infty$ , berlaku

$$\bar{u} = \bar{w} = \bar{u}'v' = \bar{v}'w' = \frac{\partial \bar{u}}{\partial r} = \frac{\partial \bar{w}}{\partial r} \\ = \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \bar{v}'w' = 0$$

Pengolahan selanjutnya menghasilkan persamaan torsi, gaya dorong, angka *swirl* dan debit berikut:

Fluks momentum sudut,

$$G_{\phi} = 2\pi\rho \int_0^{\infty} r^2 \cdot \bar{u}w \cdot dr \quad (5)$$

Fluks momentum aksial,

$$G_Z = 2\pi\rho \int_0^{\infty} r \cdot (\bar{u}^2 - \frac{\bar{w}^2}{2}) \cdot dr \quad (6)$$

Angka *swirl*,

$$S = \frac{G_{\phi}}{G_Z R} \quad (7)$$

Petterson dkk, 1996 selanjutnya menyebut fluks momentum sudut sebagai torsi aliran dan fluks momentum aksial sebagai gaya dorong aliran.

Debit aliran dihitung sebagai perkalian antara kecepatan aksial dan luasan penampang aliran (Schlichting, 1979).

$$Q = 2\pi \int_0^{\infty} r u dr \quad (8)$$

### Cara Penelitian

Peralatan pengujian menggunakan *Hot Wire Anemometer*, *AVO meter*, *voltage regulator* dan *Stroboscope*. Bahan pengujian menggunakan kipas aksial 3 buah sudu dengan penggerak motor listrik induksi 1 fase 220 V, 0.75 A, 50 Hz yang digantungkan di langit-langit ruang pengujian. Pengukuran dilakukan pada jarak vertikal 210, 360, 550 dan 660 mm dari kipas di sisi hilir aliran, dengan jarak antar pengukuran 50 mm sepanjang bentang 800 mm. *Traverse* pengukuran merupakan satu garis lurus sepanjang setengah diameter penampang yang melewati pusat aliran.

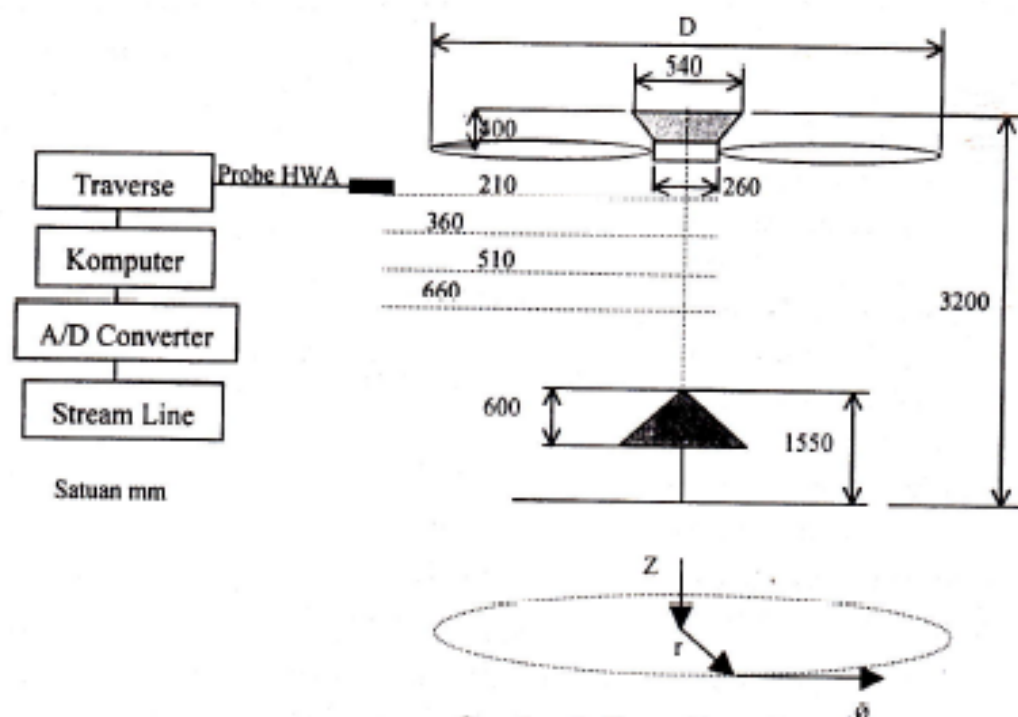
Kipas aksial menggunakan sudu datar dengan variasi panjang span sudu dan sudut serang. Variasi panjang span sudu ( $b$ ), sebesar 450 mm ( $b_0$ ), 337,5 mm ( $0,75 b_0$ ), 225 mm ( $0,5 b_0$ ) dan 135 mm ( $0,3 b_0$ ) serta variasi sudut serang 5, 10, dan  $15^\circ$  pada putaran konstan 610 rpm. Variasi span sudu dilakukan dengan memotong ujung sudu sehingga didapatkan span sudu yang dikehendaki. Sudu awal mempunyai span 450 mm, berbentuk

simetri, *chord* pangkal ( $c_r$ ) 100 mm dan *chord* ujung ( $c_t$ ) 80 mm. Variasi span sudu dilakukan dengan harga *chord* pangkal ( $c_r$ ) tetap dan *chord* ujung ( $c_t$ ) mengikuti profil sudu awal. Sehingga pada span sudu 450 mm *chord* pangkal ( $c_r$ ) tetap 100 mm, span sudu 337.5 mm harga *chord* ujung ( $c_t$ ) 85 mm, span sudu 225 mm harga *chord* ujung ( $c_t$ ) 90 mm dan pada span sudu 135 mm harga *chord* ujung ( $c_t$ ) 94 mm.

### Tahapan pengukuran

Tahapan pengukuran meliputi,

1. Menyusun kipas aksial dan alat pengujian seperti pada gambar 1.
2. Menempatkan probe pada titik nol pengukuran.
3. Menghidupkan motor listrik, mengatur tegangan masuk motor sesuai dengan putaran kipas yang diinginkan dengan *voltage regulator*. *Stroboscope* digunakan memantau kecepatan konstan 610 rpm.
4. Mengukur arus dan tegangan masuk motor, untuk menghitung daya motor listrik untuk mengoperasikan kipas.
5. Mengukur kecepatan aliran udara pada sisi hilir rotor dengan menu *experiment HWA*.
6. Mengulangi langkah pengujian 2 sampai 5 dengan variabel lainnya.



Gambar 1. Skema Pengujian

Urutan variabel pengukuran meliputi :

- Span sudu 450 mm dengan pengujian pada sudut serang 5,10 dan 15°.
- Sudut serang 10° dengan pengujian span sudu 337,5; 225 dan 135 mm.

$$\int_{x_0}^{x_n} y dx = \frac{h}{2} \{y_0 + 2(y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1}) + y_n\}$$

Massa jenis udara sekitarnya pada pengujian sebesar 1.176 kg/m<sup>3</sup> yang dihitung pada suhu 26.7°C.

### Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi aliran dilakukan dengan pengamatan pola aliran kecepatan rata aksial dan tangensial, sedangkan kinerja kipas diperoleh dengan menghitung harga debit, gaya dorong, torsi aliran dan konsumsi daya. Data pengukuran penelitian ini didapatkan dari pengukuran probe dual jenis 55 P 51 *Hot wire anemometer* dengan *sampling rate* 8192 dan *frekwensi* 2000 Hz. Pengukuran dilakukan pada setengah diameter penampang aliran pengukuran, dengan 2 set pengukuran aksial – tangensial dan aksial – radial.

Harga torsi, gaya dorong, angka *swirl* dan debit aliran didapatkan dengan memasukkan harga terukur kecepatan rata-rata aksial dan harga terhitung tangensial ke dalam persamaan (5), (6), (7) dan (8). Harga terhitung kecepatan tangensial diperoleh dari perhitungan parameter hasil pencocokan kurva. Konsumsi daya kipas aksial diperoleh dari perkalian arus listrik dan tegangan yang terukur selama pengujian. Perhitungan data Integral menggunakan pengintegralan numerik dengan metode trapesium yang dinyatakan dengan,

### Pencocokan kurva

Untuk mengetahui kecenderungan pola dilakukan pencocokan kurva terhadap distribusi kecepatan rata – rata aksial dan tangensial.

Data kecepatan rata-rata aksial didekati dengan kurva polinomial orde lima, yaitu

$$Y = A_0 + A_1 X + A_2 X^2 + A_3 X^3 + A_4 X^4 + A_5 X^5.$$

Data kecepatan rata – rata tangensial didekati kurva Gaussian non linier,

$$Y = \alpha X \exp - (A_1 X + A_2 X^2).$$

Penghilangan regresi non linier persamaan ini dilakukan dengan mengubah menjadi

$$- \ln (Y/X) = A_0 + A_1 X + A_2 X^2$$

Hubungan kedekatan kurva dengan distribusi data ditentukan dari koefisien korelasi (*r*), dimana pada harga yang mendekati 1 menunjukkan hubungan kecocokan sempurna antara kurva dan distribusi data. Hasil pencocokan kurva terhadap kecepatan rata – rata aksial dan tangensial posisi pengukuran 210 disajikan pada tabel 1 dan 2.

**Tabel 1.** Koefisien kurva dan korelasi polinomial orde lima pada distribusi kecepatan rata-rata aksial posisi 210 mm.

b/bo	1	1	1	0,75	0,5	0,3
Beta(°)	5	10	15	10	10	10
A <sub>0</sub> =	0.6139	0.8358	0.997	0.4157	0.4896	0.2592
A <sub>1</sub> =	0.0001	-0.003	-0.0014	-0.0011	0.0029	-0.0038
A <sub>2</sub> =	1E-05	6E-05	5E-05	7E-05	3E-05	0.0001
A <sub>3</sub> =	3E-09	-2E-07	-1E-07	3E-07	-2E-07	-6E-07
A <sub>4</sub> =	-7E-14	1E-10	1E-10	4E-10	4E-10	1E-09
A <sub>5</sub> =	6E-14	-3E-14	-1E-14	-2E-13	-2E-13	-8E-09
r <sup>2</sup> =	0.8535	0.8563	0.8024	0.9309	0.8781	0.8244

**Tabel 2.** Koefisien kurva dan korelasi polinomial orde 2 pada distribusi kecepatan rata – rata tangensial posisi 210 mm.

b/b <sub>0</sub>	1	1	1	0,75	0,5	0,3
Beta(°)	5	10	15	10	10	10
A <sub>0</sub> =	6.6021	8.4391	7.1516	10.873	7.1865	6.1599
A <sub>1</sub> =	-0.0084	-0.0181	-0.0148	-0.0338	-0.0065	-0.0019
A <sub>2</sub> =	2E-05	3E-05	3E-05	6E-05	3E-05	7E-06
r <sup>2</sup> =	0.8865	0.8368	0.8739	0.8837	0.8856	0.8699

### Distribusi kecepatan rata-rata arah aksial

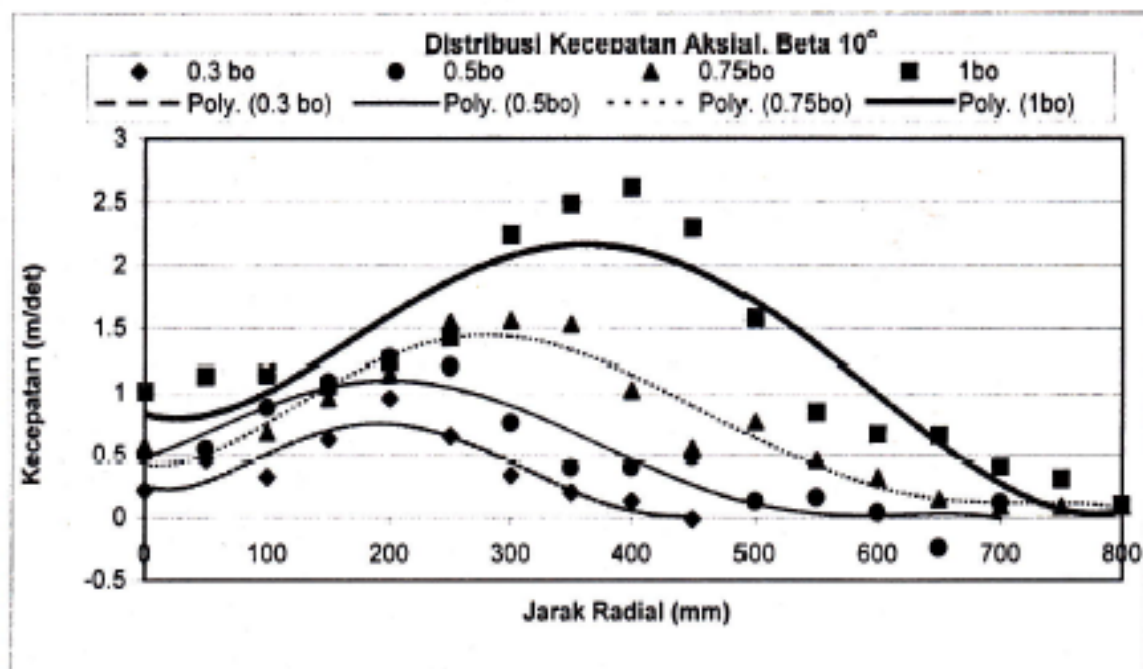
Distribusi kecepatan rata-rata arah aksial pada setengah diameter kipas aksial disajikan pada gambar 2 dan 3. Gambar 2 menunjukkan distribusi kecepatan rata-rata arah aksial dengan variasi span sudu kipas aksial pada pengujian sudut serang tetap 10°. Hasilnya terlihat bahwa harga kecepatan rata-rata aksial membesar dengan bertambahnya panjang span sudu. Luasan semburan aliran juga membesar dengan bertambahnya panjang span sudu. Diameter semburan aliran untuk span sudu 0,3 b<sub>0</sub> berdiameter sekitar 350 mm, 0,5 b<sub>0</sub> sekitar 400 mm, 0,75 b<sub>0</sub> sekitar 500 mm dan untuk 1 b<sub>0</sub> berdiameter 600mm.

Gambar 3 menunjukkan distribusi kecepatan rata-rata arah aksial dengan span sudu 450 mm (1 b<sub>0</sub>) pada variasi sudut serang 5°, 10° dan 15°. Hasil pengujian ini memperlihatkan bahwa pengope-

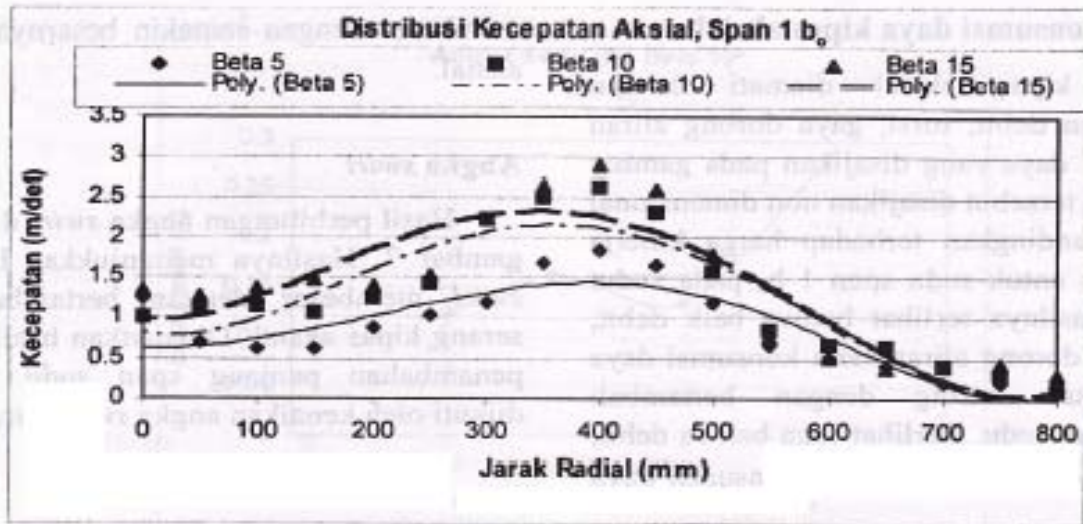
rasian kipas aksial sudu datar dengan perubahan sudut serang menghasilkan harga kecepatan rata-rata aksial yang membesar dengan bertambahnya sudut serang dari 5° ke 15°. Sementara luasan semburan kipas aksial cenderung tetap pada diameter 600 mm. Hal ini menunjukkan bahwa luasan semburan kipas aksial tidak terpengaruh oleh perubahan sudut serang kipas aksial.

### Distribusi kecepatan rata-rata tangensial

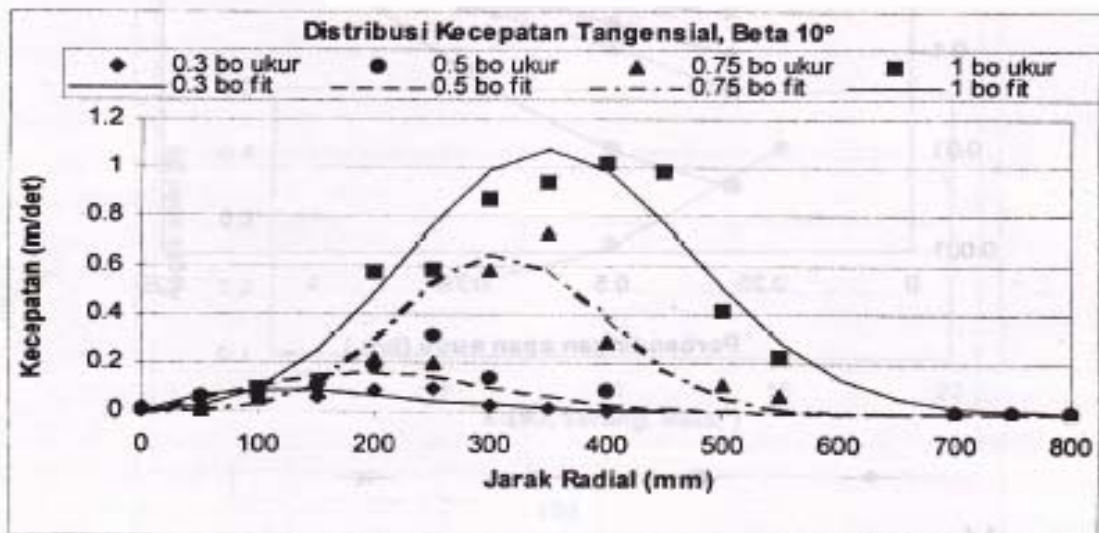
Distribusi kecepatan rata-rata tangensial disajikan dalam gambar 4 dan 5. Dari gambar 4 terlihat bahwa dengan membesarnya span sudu kipas aksial juga memperbesar harga kecepatan rata-rata tangensial dan luasan semburan aliran kipas aksial. Di pusat aliran semua harga kecepatan rata-rata tangensial mendekati harga nol, hal ini membuktikan bahwa probe Hot Wire Anemometer sudah terletak di titik pusat aliran.



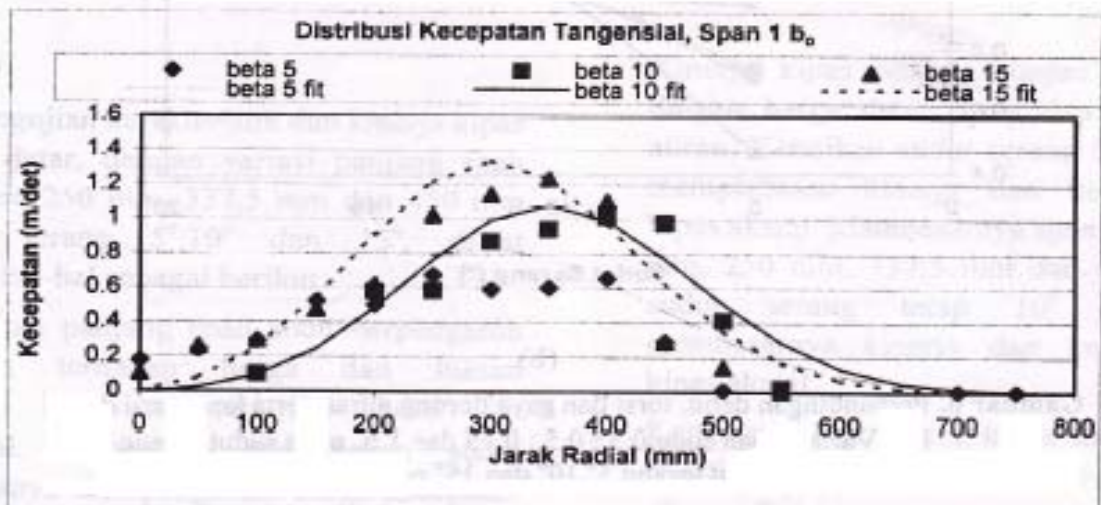
**Gambar 2.** Distribusi kecepatan rata-rata aksial pada sudut serang 10° untuk variasi span sudu 0,3 b<sub>0</sub>; 0,5 b<sub>0</sub>; 0,75 b<sub>0</sub> dan 1 b<sub>0</sub>.



Gambar 3. Distribusi kecepatan rata-rata aksial span sudu 1  $b_0$ , pada variasi sudut serang 5°, 10° dan 15°.



Gambar 4. Distribusi kecepatan rata-rata tangensial pada sudut serang 10°, untuk variasi span sudu 0,3  $b_0$ ; 0,5  $b_0$ ; 0,75  $b_0$  dan 1  $b_0$ .



Gambar 5. Distribusi kecepatan rata-rata tangensial span sudu 1  $b_0$ , pada variasi sudut serang 5°, 10° dan 15°.

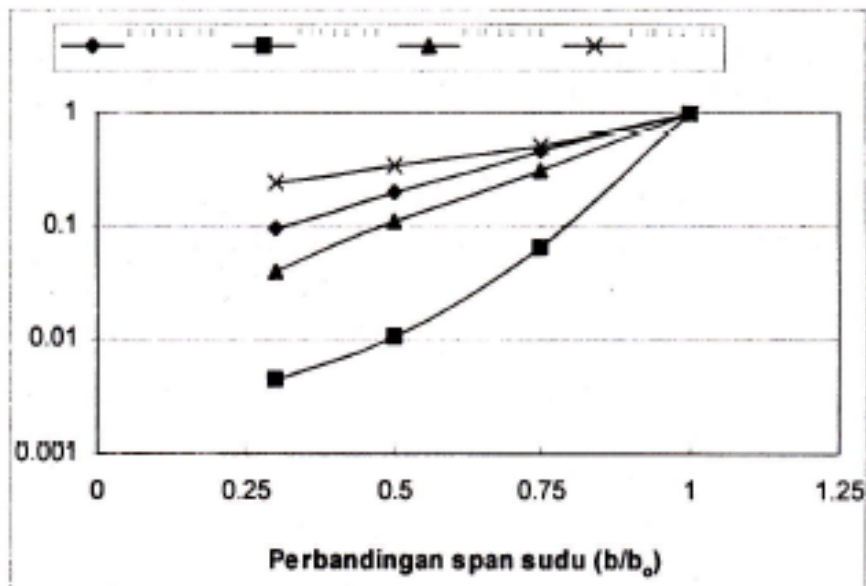
### Kinerja dan konsumsi daya kipas aksial

Kinerja kipas aksial diamati dengan membandingkan debit, torsi, gaya dorong aliran serta konsumsi daya yang disajikan pada gambar 6. Harga-harga tersebut disajikan non dimensional dengan membandingkan terhadap harga kinerja yang diperoleh untuk sudu span  $1 b_0$  pada sudut serang  $10^\circ$ . Hasilnya terlihat bahwa baik debit, torsi dan gaya dorong aliran serta konsumsi daya akan membesar seiring dengan bertambah panjangnya span sudu. Terlihat juga bahwa debit, torsi dan gaya dorong aliran serta konsumsi daya

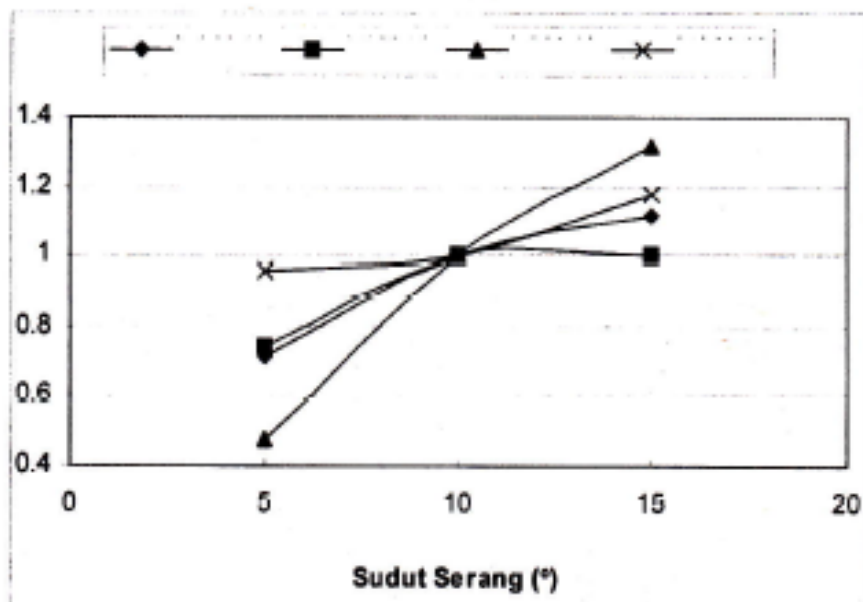
membesar dengan semakin besarnya sudut kipas aksial.

### Angka *swirl*

Hasil perhitungan angka *swirl* disajikan pada gambar 7. Hasilnya menunjukkan bahwa angka *swirl* membesar dengan bertambahnya sudut serang kipas aksial. Didapatkan hasil juga bahwa penambahan panjang span sudu tidak selalu diikuti oleh kenaikan angka *swirl* aliran.

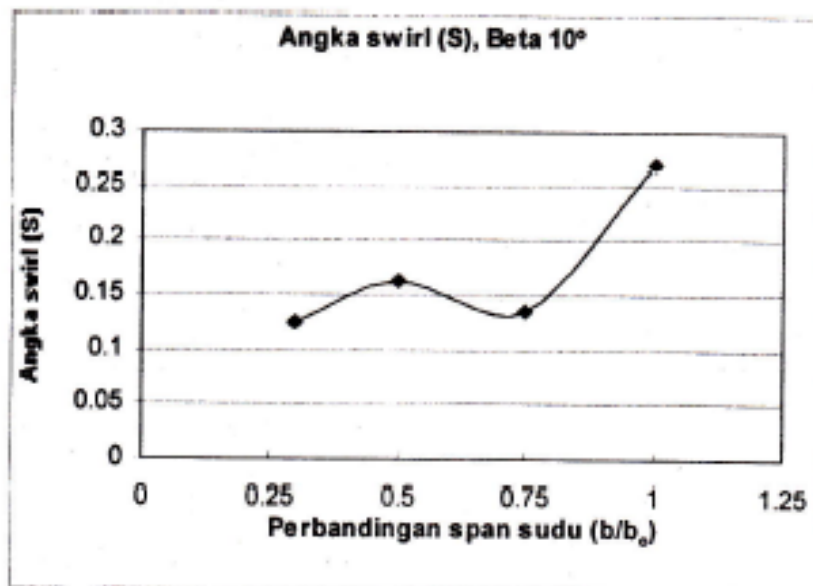


(a)

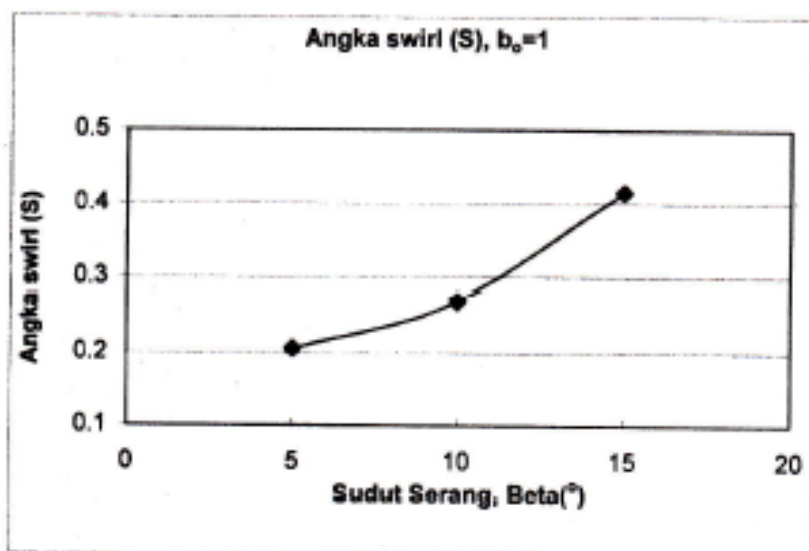


(b)

**Gambar 6.** Perbandingan debit, torsi dan gaya dorong aliran serta konsumsi daya  
 (a). Variasi span sudu 0,3 ; 0,5 ; 0,75 dan 1  $b_0$  pada sudut serang  $10^\circ$ .  
 (b). Variasi sudut serang  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  dan  $15^\circ$  pada span sudu 1  $b_0$ .



(a)



(b)

**Gambar 7.** Perbandingan Angka Swirl

(a). Variasi span sudu 0,3; 0,5 ; 0,75 dan 1  $b_0$  pada sudut serang  $10^\circ$ .

(b). Variasi sudut serang  $5^\circ, 10^\circ$  dan  $15^\circ$  pada span sudu 1  $b_0$ .

### Kesimpulan

Dari pengujian karakteristik dan kinerja kipas aksial sudu datar, dengan variasi panjang span sudu 135 mm, 250 mm, 337,5 mm dan 450 mm dan sudut serang  $5^\circ, 10^\circ$  dan  $15^\circ$ , dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut

1. Pengubahan panjang span sudu berpengaruh signifikan terhadap harga dan luasan semburan kecepatan rata-rata aksial dan tangensial. Sementara pengubahan sudut serang hanya mempengaruhi harga kecepatan rata-rata aksial dan tangensial.
2. Kinerja kipas aksial ditinjau dari perbandingan harga debit, torsi dan gaya dorong aliran. Kenaikan sudut serang  $5^\circ, 10^\circ$  dan  $15^\circ$  memperbesar kinerja dan konsumsi daya kipas aksial. Membesarnya span sudu dari 135 mm, 250 mm, 337,5 mm dan 450 mm pada sudut serang tetap  $10^\circ$  juga diikuti membesarnya kinerja dan konsumsi daya kipas aksial.
3. Kenaikan sudut serang kipas sudu aksial dari  $5^\circ, 10^\circ$  dan  $15^\circ$  memperbesar angka swirl aliran. Sementara membesarnya span sudu kipas tidak selalu diikuti oleh kenaikan angka swirl aliran.



**Daftar Lambang**

$A_0, A_1, A_2$	: koefisien polinomial orde 2
$A_{0,1,2,3,4,5}$	: koefisien polinomial orde 5
$b$	: span sudu (mm)
$b_0$	: span sudu referensi=450 mm
$b_{0,10}$	: span sudu 450 mm dan sudut serang $10^\circ$
$c_r, c_t$	: <i>chord</i> ujung, pangkal (mm)
$D$	: diameter kipas (mm)
$d_h$	: diameter <i>hub</i> (mm)
$E$	: tegangan listrik (Volt)
$F$	: gaya dorong aliran (N)
$G_\phi, G_z$	: fluks momentum sudut (Nm), fluks momentum aksial (N)
$h$	: interval
$I$	: arus listrik (Ampere)
$n$	: jumlah interval
$N$	: putaran rotor (rpm)
$P$	: daya motor listrik (Watt), tekanan ( $N/m^2$ )
$\bar{P}$	: tekanan rata-rata ( $N/m^2$ )
$p'$	: tekanan fluktuasi ( $N/m^2$ )
$Q$	: Debit ( $m^3/det$ )
$r$	: jarak radial dari sumbu (cm)
$r^2$	: koefisien korelasi
$R$	: jari-jari kipas (mm)
$r, \phi, z$	: arah radial, tangensial dan aksial sistem koordinat silindris
$S$	: Angka <i>swirl</i>
$T$	: torsi aliran (Nm)
$t$	: waktu (det)
$u, v, w$	: komponen kecepatan pada arah sumbu $z, r, \phi$ ( $m/det$ )
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	: kecepatan rata-rata komponen aksial, radial dan tangensial ( $m/det$ )
$u', v', w'$	: kecepatan fluktuasi komponen aksial, radial dan tangensial ( $m/det$ )
$V$	: tegangan (volt), kecepatan ( $m/det$ )
$\beta, \text{beta}$	: sudut serang ( $^\circ$ )
$\rho$	: densitas fluida ( $kg/m^3$ )

**Daftar Pustaka**

Balje O.E, 1982, *Turbomachines: A Guide to Design, Selection and Theory*, John Willey and Sons.

- Bertin J.J. and Smith M.L., 1979, *Aerodynamics for Engineers*, Prentice Hall Inc.
- Bruun H.H., 1995, *Hot Wire Anemometry, Principal and Signal Analysis*, Oxford University Press.
- Chigier NA and Chervinsky A, 1967, *Experimental Investigation of Swirling Vortex Motion in Jets*, Journal of Applied Mechanics, Juni 1967.
- Gerhart P.M. and Gross R.J., 1993, *Fundamental of Fluid Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Co.
- Hinze JO, 1959, *Turbulence an Introduction to Its Mechanism and Theory*, Mc Graw Hill Book Co.
- Lakshminarayana B., 1996, *Fluid Dynamic and Heat Transfer of Turbomachinery*, John Wiley and Sons.
- Petersson P. et.al., 1996, *Measurement of the Velocity Field downstream of an Impeller*, Journal of Fluid Engineering, Vol 228, September 1996.
- Rose WG, 1962, *A Swirling Round Turbulence Jet*, Journal of Applied Mechanics, Desember 1962.
- Schlichting H., 1979, *Boundary Layer Theory*, Mc Graw Hill Book co.
- Shao Lin Lee, 1965, *Axisymmetrical Turbulent Swirling Jet*, Journal of Applied Mechanics, June 1965.
- Stream Line, *Installation and User's Guide*.
- Sutrisno, 2000, *Solution for the Fluid Flow Dynamics of an axisymmetric Jet with Swirl and Its Implementation on Fan Flow*, ITB Published, Vol 32, No 1, Juli 2000.
- Yowakim F.M. and Kind R.J., 1988, *Mean Flow and Turbulence Measurements of Annular Swirling Flows*, Journal of Fluids Engineering, Vol 220, September 1988.