

## PENGHEMATAN ENERGI PADA FAN

Oleh : Sonden Winarto

### ABSTRAK

*Pertambahan kebutuhan energi listrik selayaknya diikuti dengan penghematan penggunaan energi listrik secara menyeluruh dan terpadu. Penghematan energi semakin relevan, sehubungan rencana Pemerintah untuk menurunkan subsidi energi, sehingga akan menjadikan harga BBM dan energi listrik semakin mahal pada tahun-tahun mendatang.*

*Potensi penghematan energi pada sebagian besar peralatan lain (FAN) berkisar antara 10 - 20 %. Sebagian besar potensi ini dapat dengan mudah diimplementasikan melalui perbaikan prosedur operasi dan pemeliharaan yang relatif tidak memerlukan investasi atau hanya dengan sedikit investasi. Penghematan energi yang lebih besar hingga 20 % dapat diperoleh jika dilakukan modifikasi namun memerlukan investasi dengan payback kurang dari 2 tahun.*

### I. PENDAHULUAN

Kenaikan harga energi dan tarif listrik akhir-akhir ini terasa memberatkan para konsumen. Kenaikan harga ini mengakibatkan biaya operasi meningkat dan menurunnya sumber pemasukan bagi Konsumen. Karena itu mencari alternatif dengan penghematan energi menjadi kebutuhan bijaksana yang mendesak.

Menghemat energi menjadi menarik bagi masyarakat khususnya industri dan bangunan komersil mengingat fraksi biaya energinya cukup tinggi dalam biaya operasi keseluruhan. Potensi penghematan energi pada sebagian besar industri berkisar antara 10 - 20 %.

Sebagian besar potensi ini dapat dengan mudah diimplementasikan melalui perbaikan prosedur operasi dan pemeliharaan yang relatif tidak memerlukan investasi atau hanya dengan sedikit investasi. Penghematan energi yang lebih besar hingga 30 % dapat

diperoleh jika dilakukan modifikasi namun memerlukan investasi dengan *payback* kurang dari 2 tahun.

Fakta di beberapa Industri menunjukkan bahwa biaya energi tidak terkontrol dengan baik dan pasrah saja terhadap keadaan yang terjadi. Dari berbagai hasil survei diketahui bahwa umumnya bagian teknik yang sehari hari menangani masalah energi tidak mengetahui jumlah tagihan energi tiap bulannya, tagihan listrik dan energi dibayar oleh bagian keuangan dan disampaikan dalam laporan tahunan.

Ini adalah salah satu permasalahan mengapa kita belum berhasil dalam program penghematan energi. Kunci sukses dari management energi adalah adanya pengelola energi yang bertanggungjawab atas pengelolaan energi dan menghubungkan semua masalah tentang energi yang terjadi di bagian utilitas/teknik dengan biaya energi yang dibayar oleh perusahaan.

### a. Tujuan Penulisan

Tulisan ini diharapkan bermanfaat bagi petugas energi atau operator yang ingin memahami prinsip - prinsip penghematan energi pada Fan

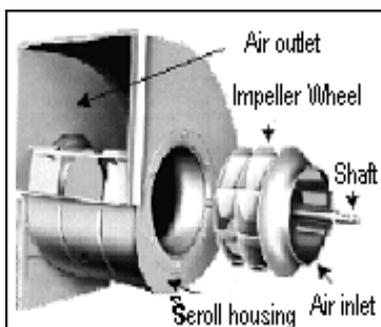
## II. ENERGI PADA FAN

Fan adalah pemanfaat listrik yang sering digunakan untuk berbagai keperluan pada perusahaan industri maupun bangunan gedung (Gambar 1).

Fan digunakan untuk menaikkan tekanan statik udara atau gas dari level rendah menjadi tekanan hampir sama atau sedikit di atas level ambient absolut. Secara tipikal fan beroperasi pada tekanan hingga 55 in H<sub>2</sub>O atau sekitar 2 psi.

Basaran tekanan statis yang dihasilkan membedakan fan dengan blower dan kompressor.

- Fan beroperasi pada hingga sekitar 2 psi.
- Blower beroperasi antara 2 - 20 psi. Dalam prakteknya ada juga design fan dan blower beroperasi di atas ranges tersebut.
- Kompresor digunakan pada sistem yang tekananya memerlukan lebih dari 20 psi.



Gambar 1 : Fan

### Efisiensi Sistem Fan

Efisiensi dari berbagai tipe fan dan contoh aplikasi berturut-turut dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 : Efisiensi Sistem Fan

Centrifugal Fans	Peak Efficiency Range
Airfoil, backwardly curved/inclined	79-83
Modified radial	72-79
Radial	69-75
Pressure blower	58-68
Forwardly curved	60-65
Axial fan	
vanaxial	78-85
Tubeaxial	67-72
Propeller	45-50

Kapasitas alir fan dapat dikendalikan dengan menggunakan inlet / outlet guide vanes, variable pitch control pada fan axial, outlet damper control, variable speed control of drive motor, merubah diameter puli.

Sebagai energi masukan/Inputs ke fan adalah meliputi :

- Aliran masuk udara / gas pada suhu dan suction draft (positive or negative).
- Daya listrik untuk menggerakkan motor sebagai tegangan dan arus.
- Tahanan minimum dalam saluran/discharge path (tanpa damper)

Output yang bermanfaat dari suatu fan adalah :

- Aliran udara keluar / gas dalam kuantitas, pada suhu tertentu dan tarkan/draft pada sisi discharge (biasanya positive).
- Velocity head dari udara keluar-outgoing air / gases.

### Tekanan Statis Fan

Pressure gauge yang sering dipasang pada saluran/ducts mengindikasikan

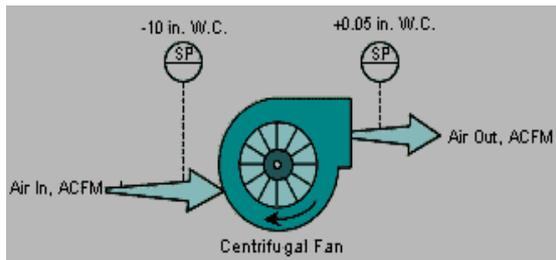
tekanan statis (gambar 2). *Manometer* sederhana *U-tube* dapat digunakan untuk mengukur tekanan statis.

Tekanan statis fan :

$$\Delta SP = SP_{(Fan\ outlet)} - SP_{(Fan\ inlet)}$$

Dengan :  $SP_{(Fan\ outlet)}$  = Tekanan Static pada outlet fan, inches kolom air (W.C).

:  $SP_{(Fan\ inlet)}$  = Tekanan Static pada inlet fan, inches kolom air (W.C).



Gambar 2 : Tekanan Statis Fan

Pada contoh di atas  $\Delta SP = 0.05 - (-10) = 10.05$  in kolom air (W.C).

**Hukum 1 Fan :**

Hukum pertama fan menyebutkan jika putaran fan bertambah, maka laju aliran akan bertambah secara proporsional (Tabel 2).

Flow berubah mengikuti perubahan speed.:  $Q_2 = Q_1 (N_2/N_1)$ .

Dengan : Q adalah aliran/Flow ,

: N adalah putaran motor/Speed.

Tabel 2 : Putara motor vs laju alir udara

Putaran Fan (rpm)	Laju alir udara (CFM)
800	16.000
900	18.000
1000	20.000
1100	22.000
1200	24.000

**Hukum 2 Fan :**

Hukum kedua fan menyatakan tekanan statik fan berubah menurut fungsi kwadrat putaran fan (Tabel 3).

$$\Delta SP_2 = \Delta SP_1 (N_2/N_1)^2$$

Dimana : SP = adalah tekanan statik

: N = adalah putaran fan/speed

Tabel 3 : Putaran vs tekanan static Fan

Putaran Fan (rpm)	Tekanan statik Fan (inch Kolom air)
800	5
900	6.3
1000	7.8
1100	9.5
1200	11.3

**Hukum 3 Fan :**

Daya fan berubah menurut fungsi pangkat tiga dari putaran/speed (rpm) fan (Tabel 4).

$$\Delta BHP_2 = \Delta BHP_1 (N_2/N_1)^3$$

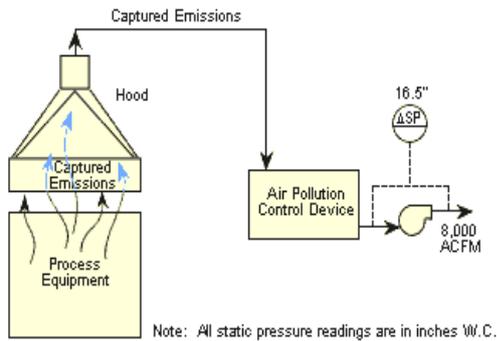
Dengan : BHP adalah daya/power,

: N adalah putaran/speed.

Tabel 4 : putaran vs daya Fan

Putaran Fan (rpm)	Daya Fan
800	17
900	24
1000	33
1100	44
1200	57

Contoh :



Gambar 3 : daya Fan

1. Pada *speed of 900 rpm*, tekanan *static fan* naik yaitu 16.5 inch H<sub>2</sub>O. dan gas flow rate sebesar 8,000 ACFM. Hitung putaran fan (*N<sub>2</sub>*), jika *flow rate* ditingkatkan dari 8,000 menjadi 12,000 *Cubic feet* udara (ACFM).

$$N_2 = (Q_2/Q_1) \times N_1 = (12000/8000) \times 900 = 1350 \text{ RPM}$$

2. Hitung kenaikan tekanan statik fan ( $\Delta SP_2$ ), akibat penambahan putaran fan tersebut.

$$\Delta SP_2 = \Delta SP_1 (N_2/N_1)^2 = 16.5 (1350/900)^2 = 37.13 \text{ in kolom air (W.C.)}$$

3. Karena Q adalah proporsional dengan putaran/speed dan H proporsional dengan pangkat dua putaran/speed, serta daya adalah perkalian antara Q dan H, maka daya menjadi proporsional dengan pangkat tiga dari putaran/speed.

Seperti tampak pada tabel di atas, penambahan putaran sebesar 25 %, yaitu dari 900 ke 1350 rpm mengakibatkan peningkatan daya 41 % yaitu dari 17 to 24 KW.

Dari hubungan antara daya dan putaran sebagaimana diuraikan di atas tampak bahwa perubahan putaran fan sedikit saja dapat memberi perubahan daya yang dramatis (lihat tabel 5 berikut).

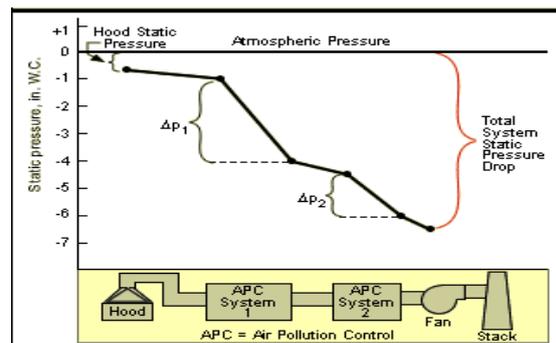
Tabel 5 : hubungan antara daya dan putaran

% Speed	% Power
100	100
90	73
80	51
70	34
60	22
50	13

Contoh di atas menggambarkan bahwa peningkatan laju alir fluida/gas sebesar 50 %, tekanan statik fan meningkat lebih dari dua kali.

Pada putaran 900 rpm, tekanan static fan naik yaitu 16.5 inch H<sub>2</sub>O dan gas flow rate sebesar 8,000 ACFM. Setelah putaran fan dirubah menjadi 1350 rpm, static pressure fan naik menjadi 37.13 kolom air dan flow rate meningkat hingga 12,000 ACFM (gambar 3).

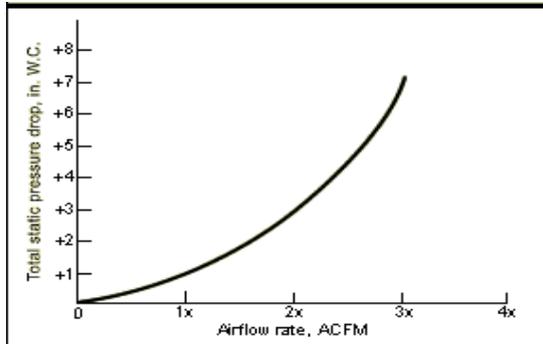
Perubahan tekanan statis udara sepanjang aliran mulai dari titik masukan hood hingga ke fan digambarkan sebagai berikut (grafik1). Profil tekanan statik sistem fan ini bermanfaat untuk mengetahui kebutuhan peningkatan tekanan statik yang diperlukan fan.



Grafik 1 : peningkatan tekanan statik

### Kurve Karakteristik System

Penurunan tekanan statik melalui komponen keseluruhan sistem adalah fungsi pangkat dua dari aliran (debit) udara sebagaimana tampak pada grafik 2 berikut.



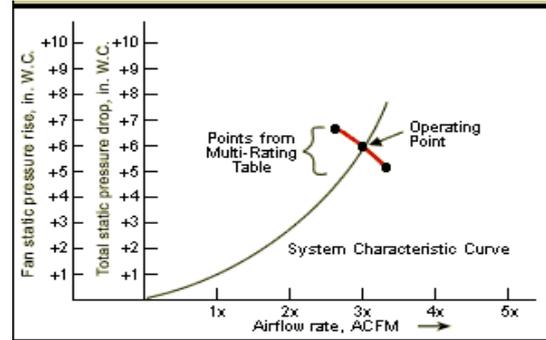
Grafik 2 : Karakteristik System

Hubungan umum antara penurunan tekanan statik sistem dengan laju alir disebut dengan kurva karakteristik. Contoh, jika pada suatu sistem diperlukan sejumlah 12000 ACFM dan untuk mencapai kecepatan alir di dalam sistem, maka penurunan tekanan statik pada sistem mencapai 10 in kolom air.

Ini berarti fan yang dibutuhkan adalah yang dapat menghasilkan laju alir sebesar 12.000 ACFM pada tekanan statik yang dihasilkan sebesar 10 in kolom air.

### Operating Point

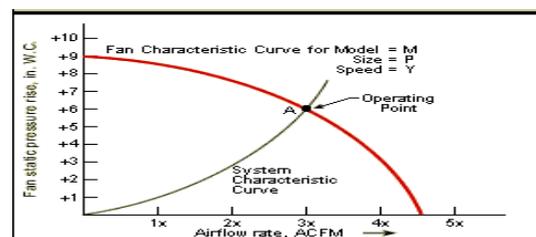
Fan yang sesuai untuk suatu keperluan didasarkan atas data performance dari manufaktur fan. Biasanya data ini disediakan dalam bentuk tabel dipublikasikan untuk berbagai model dan ukuran fan. Berdasarkan data tersebut dimungkinkan memilih model dan ukuran fan, serta putaran fan yang sesuai untuk mendapatkan laju alir dan tekanan statik sesuai kondisi yang dibutuhkan.



Grafik 3 : Operating point

Kesesuaian antara data performansi dan kurva karakteristik sistem digambarkan seperti di atas untuk putaran spesifik fan yang dipilih (grafik3). Sepanjang kedua fan dan sistem keseluruhan berada dalam kondisi baik, sistem akan beroperasi pada titik seperti pada gambar tersebut. Titik ini disebut operating point.

Kurva karakteristik tersedia untuk berbagai model, ukuran dan putaran. Perpotongan antara curva karakteristik fan dan karakteristik sistem digambarkan pada titik A (Grafik 4). Titik ini sudah harus ditentukan oleh desainer sistem sebelum memilih fan.



Grafik 4 : karakteristik fan vs karakteristik sistem

### Perhitungan Daya Fan

Daya udara suatu fan atau blower dapat dihitung dengan formula (Acfm – cubic foot per minute corrected to 15 °C) sebagai berikut :

$$HP = \frac{\text{Volume (cfm)} \times \text{Head (inches H2O)}}{6356 \times \text{Mechanical Efficiency Fan}}$$

$$HP = \frac{\text{Volume (cfm)} \times \text{Pressure (lb.Per sq.ft)}}{3300 \times \text{Mechanical Efficiency Fan}}$$

$$HP = \frac{\text{Volume (cfm)} \times \text{Pressure (lb.Per sq.in)}}{229 \times \text{Mechanical Efficiency Fan.}}$$

Dalam perhitungan, eff. fan atau blower dapat diassumsi : 0.65.

**Mengontrol Debet**

Jika rated kapasitas – flow rate fan adalah besar, tetapi sebenarnya flow rate aktual yang diperlukan adalah rendah. Maka dampak pengurangan laju alir terhadap daya fan sangat dipengaruhi metoda yang digunakan sebagaimana diuraikan berikut :

- Recirculation : Melakukan resirkulasi udara kembali ke inlet fan sering dilakukan pada positive displacement blower dan sistem fan. Cara resirkulasi adalah tidak efisien sebab tidak ada pengurangan laju alir dari udara yang dihasilkan fan. Oleh karena itu tidak ada pengurangan daya.
- Damper : Dengan menutup damper atau katup pada inlet maupun outlet fan akan menimbulkan pengurangan aliran namun cara ini juga menambah tahanan aliran. Oleh karena itu cara ini dapat mengurangi sedikit daya fan.

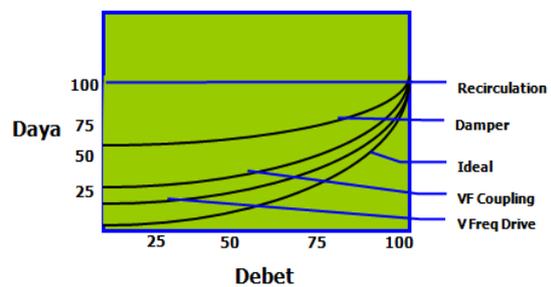
Inlet vanes dapat membuat gerakan aliran berputar (swirl) masuk ke sentrifugal fan atau blower menjadikan tipe ini lebih efisien dibandingkan dengan damper atau butterfly valves.

- VFC : Variable speed fluid coupling. Putaran motor adalah konstan tetapi putaran fluid coupling berubah sehingga putaran fan menjadi berubah.
- VFD : Variable frequency drive, mengatur putaran motor fan dengan mengendalikan frekwensi

Mengatur putaran fan adalah metoda paling efisien. Jika volume aliran udara adalah konstan maka putaran fan dapat diatur dengan memilih ukuran pullei yang sesuai. Tetapi jika volume berubah-ubah sesuai kebutuhan proses, maka *adjustable-speed drives* lebih tepat digunakan untuk mengatur putaran fan.

Mengubah sudut *blade fan* adalah metoda pengendalian laju alir yang sering digunakan pada *vane-axial fans*. Pengaruh perubahan laju aliran terhadap daya dan efisiensi keseluruhan *sistem fan* dapat dilihat pada grafik 5 dan tabel 6.

Tampak pada tabel 6 tersebut bahwa variabel speed drive adalah cara yang paling efisien.



Grafik 5 : variabel speed drive

Tabel 6 : Efisiensi sistem fan dengan berbagai metoda pengendalian laju alir

% RATED FLOW	OUTLET DAMPER	INLET GUIDE VANE	VARIABLE SPEED DRIVE
100	81	78	83
90	61	74	81
80	44	58	80
70	31	42	76
60	21	28	70
50	14	18	66

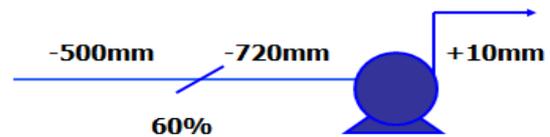
### Langkah Perbaikan Efisiensi pada Sistem Fan.

Berikut adalah perbaikan efisiensi yang umum pada sistem fan :

- Operasikan fan sedekat mungkin dengan *best efficiency duty point* dengan cara menyesuaikan kapasitas fan dengan demand.
- Minimumkan tahanan saluran pada *suction* (no dampers).
- Meminimumkan tahanan saluran *discharge path* (no dampers).
- Operasikan *fan* pada *head* dan *flow* yang rasional sesuai kebutuhan .
- Yakinkan *voltage* dan *frequency supply* adalah benar.
- Pemeliharaan dan *housekeeping practices* yang baik.
- Minimizing udara bocor - *leak air / gas* dan out leak air / gas.
- *Downsizing, pulley change, VSD.*
- Hindari *demand* yang tidak perlu.
- *Excess air reduction* (untuk sistem pembakaran).
- Hindari idling.
- Kurangi pressure drops.
- Menghilangkan redundant ducts.
- Modifikasi ducting dengan bend minimum.
- Modifikasi drive system.
- Gunakan penggerak/drive langsung jika dimungkinkan.
- Ganti V-belt dengan flat belt.
- Gunakan energi efficient fans.

### Rugi rugi Energi pada Damper

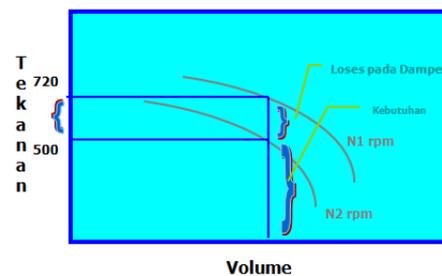
Menggunakan damper untuk mengendalikan laju aliran adalah cara paling mudah dan sering dilakukan pada berbagai aplikasi, namun cara ini boros energi. Pada contoh Gambar 4 misalnya damper dibuka 60 %, akan menaikkan pressure drop sebesar 220 mm kolom air. Pressure drop dapat dihindari dengan *variable speed*.



Gambar 4 : Rugi rugi Energi pada Damper

Menurut curva karakteristik, fan dengan damper tertutup beroperasi dengan tekanan 720 mm H<sub>2</sub>O. Jika putaran diatur maka *curva fan* bergeser ke bawah dan memberi jumlah aliran sesuai kebutuhan tanpa menimbulkan tahanan atau rugi-rugi tekanan. Dengan kata lain tidak menimbulkan tambahan daya udara fan.

Potensi penghematan energi = {Pr. Drop pada Damper/ Pr. Rise} x 100 = {220/730} x 100 % = 30 %.



Grafik 6 : Potensi penghematan energi

### Penghematan Energi melalui Kontrol.

Tabel 7 menunjukkan potensi penghematan energi pada sistem fan dan pompa jika sistem salah satu tipe kontrol diganti dengan tipe kontrol lainnya.

Tabel 7 : penghematan energy melalui kontrol

Dari	ke	Penghematan %
1) Constant Volume	Outlet Dampers	11
2) Constant Volume	Inlet Vanes	31
3) Constant Volume	VFD's	72
4) Outlet Dampers	Inlet Vanes	23
5) Outlet Dampers	VFD's	69
6) Inlet Vanes	VFD's	59

### Pemeriksaan

Pemeriksaan kinerja sistem fan memerlukan kegiatan : pengumpulan data, observasi dan pengukuran parameter operasi : tekanan statis, kecepatan alir udara dan daya fan. Suatu alat ukur portabel seperti power meter dan manometer (pitot tube with inclined manometer) dapat digunakan.

Langkah pemeriksaan kinerja pemanfaatan energi sistem fan adalah :

- Kumpulkan informasi sistem fan.  
Tipe fan atau blower yang digunakan apakah type yang cocok. Apakah fan atau blower memberikan efisiensi dan performance yang baik pada aplikasinya. Kumpulkan spesifikasi fan dan motor serta ducting network.
- Periksa Efisiensi system fan.  
Efisiensi sistem antara lain ditentukan oleh jumlah dan type belokan saluran (bends) serta tahanan atau restriksi. Bends yang tajam akan meningkatkan resistansi yang harus diatasi fan atau blower. Bends dan restriksi dekat pada inlet atau outlet akan mengurangi kapasitas dan efisiensi secara serius
- Dapatkan informasi tentang sistem kendali.

Dengan memilih fan atau blower secara benar dan system distribution didesain dengan tepat, maka metoda control adalah hal pokok yang menentukan efisiensi energi. Pada systems yang memerlukan volume udara konstan *speed belt-driven fan* atau blower harus disesuaikan dengan memilih ukuran pulley yang benar.

Sistem fan haruslah dioerasikan hanya pada saat diperlukan. Pada systems yang memerlukan aliran udara yang variable, maka *adjustable-speed* control adalah yang paling efisien.

- Lakukan pengukuran

Dapatkan informasi parameter operasi dengan pengukuran laju alir, tekanan statis fan dan efisiensi fan. Jika ada damper hitung *pressure drop* pada damper.

Secara singkat aktifitas pengukuran uadit energi pada sistem fan adalah sebagai berikut.

- Ukur daya input motor
- Ukur speed fan dan motor
- Ukur tekanan static pada beberapa points dalam duct
- Ukur tekanan total dan *static* lalu hitung debit
- Estimasi efisiensi system dan check fan operating point

### Contoh Perhitungan penghematan energi pada motor fan :

#### Metoda 1 : Berdasarkan data name plate fan.

Dengan menggunakan data *nameplate, load factor and power factor fan, fans annual operating costs* dapat dihitung.

Biaya Listrik Tahunan (*Annual Electricity Costs*) = (*motor full load hp*) x (0.746

$\text{kW/hp} \times (1/\text{efficiency}) \times (\text{Jam operasi per tahun}) \times (\text{tariff listrik dalam Rp/kWh}) \times (\text{load factor})$

Data (asumsi) :

Harga listrik/Cost of electricity = Rp. 1.115 /kW (**Industri**)

Load factor = 65% (Ini dapat diubah menjadi lebih besar jika fan bekerja dengan nilai % yang lebih besar)

Efisiensi Motor = 95% (tergantung type dan umur motor)

Contoh: Motor full load hp = 50 hp

Jam operasi per tahun = 8760 jam (3 shifts, 7 hari per minggu, 365 hari per tahun)

Biaya listrik tahunan (Annual electricity costs) =  $(50\text{hp}) \times (0.746 \text{ kW/hp}) \times (1/0.95) \times (8760 \text{ jam}) \times (\text{Rp. } 1.115 /\text{kWh}) \times (0.65)$   
= Rp. 249.274.329,-

Jika load factor diubah menjadi 80 %, maka perkiraan biaya listrik yang baru adalah Rp. 325.974.123,-. Kenapa operational cost menjadi lebih tinggi adalah fan beroperasi dengan beban (load factor) yang lebih besar (dari 65 menjadi 80 %).

Salah satu cara menghemat energi adalah dengan memperkecil ukuran motor (undersize the motor) yaitu dari 50 hp menjadi 40 hp), dengan demikian biaya operasi (cost of operation) pada 65% load factor adalah Rp. 199.419.464,- dan penghematan per tahun adalah Rp. 49.854.866,- (25% saving). Dengan load factor 80%, penghematan juga hampir sama dengan 25%.

## Metoda 2: Berdasarkan curva fan.

Menggunakan methoda ini, diperlukan pengukuran tekanan aliran udara dan kurva performance fan (cfm vs. hp). Cara

ini menggunakan curve-fit suatu fan - typical dan memberikan tingkat akurasi baik pada flow/aliran : 2000 to 20,000 cfm, static pressure : 2 to 26 inch water gage, dan hp : 10 sampai 60. Untuk fan yang dayanya lebih besar, maka diperlukan membuat curve fan terlebih dahulu atau mendapatkannya dari sumber yang kompeten.

Biaya listrik per tahun (Annual electricity costs) =  $(\text{Fan hp} / \text{efficiency motor}) \times (\text{Jam operasi per tahun}) \times (\text{tarif listrik dalam Rp/kWh}) \times (\text{load factor})$

Dari Fan Curve diperoleh data :

Fan discharge pressure : 20 in. water gage.

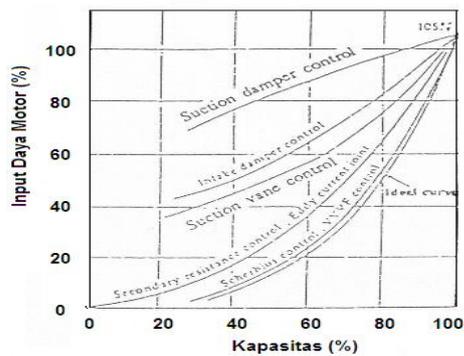
Baca dari grafik (hp line - from the graph) = 50 hp.

Substitusikan data ini pada persamaan annual energi costs di atas, diperoleh :

Biaya listrik tahunan/Annual energi costs =  $(50 \text{ hp}/0.95) \times (0.746 \text{ kW/hp}) \times (8760 \text{ jam}) \times (\text{Rp. } 1115/\text{kWh}) \times (0.65)$  = Rp. 213.129.552,-

Energi and biaya/rupee dapat dihemat dengan merubah aliran/flow rate (assumsi fan oversized hingga 50%).

Methoda ini akan dimengerti jika grafik *fan curve* dilihat. Jika cfm dikurangi hingga 50%, dan daya hp akan turun menjadi hampir setengah (lihat grafik 7). Ini berarti bahwa fan sekarang beroperasi dengan hanya setengah dari daya, artinya mengkonsumsi energi juga hanya setengahnya. Hasilnya sekitar 50% biaya dihemat. Catatan, Dengan mengurangi *flow rate* (cfm menjadi setengah, penurunan tekanan fan akan terjadi, tetapi tidak significant).



Grafik 7 : Cara pengendalian Aliran Udara dan Tenaga yang diperlukan.

### III. KESIMPULAN

Hasil akhir dari kegiatan penghematan pada sistem fan dapat menghasilkan rekomendasi berupa pengurangan putaran fan, pengurangan ukuran impeller dengan pemotongan atau penggantian, mengganti ukuran dan jenis *belt*, penggunaan *variabel speed drive* untuk mengendalikan kebutuhan volume aliran yang bervariasi, dan kemungkinan penggantian fan.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Conkey, Andrew P.; Perez, Robert X,. Troubleshooting rotating machinery: including centrifugal pumps and compressors, reciprocating pumps and compressors, fans, steam turbines, electric motors, and more,. Wiley-Scrivener, 2016.
2. Gingery,. How to Design and Build Centrifugal Fans for the Home Shop --1987 publication. [First Edition]