

2. STUDI LITERATUR

2.1 Pengertian Energi Audit

Audit energi adalah teknik yang dipakai untuk menghitung besarnya konsumsi energi dan mengenali cara-cara penghematannya. Audit energi bertujuan mengetahui "Potret Penggunaan Energi" dan mencari upaya peningkatan efisiensi penggunaan energi. Jangkauan audit energi dimulai dari survei data sederhana hingga pengujian data yang sudah ada secara rinci, digabungkan dengan uji coba pabrik secara khusus yang dirancang untuk menghasilkan data baru. Lama pelaksanaan suatu audit bergantung pada besar dan jenis fasilitas proses pabrik dan tujuan audit itu sendiri. Audit energi dibagi menjadi 2, yaitu Audit Energi Awal (AEA) dan Audit Energi Terinci (AET) (Raharjo, 2013).

2.1.1 Audit Energi Awal (AEA)

Survei awal atau Audit Energi Awal (AEA) dapat dilaksanakan dalam waktu satu atau dua hari untuk instalasi pabrik yang sederhana, namun untuk instalasi pabrik yang lebih kompleks diperlukan waktu yang lebih lama. AEA terdiri dari dua bagian, yaitu: survei manajemen energi dan survei energi. Auditor energi bertujuan untuk memahami kegiatan manajemen yang sedang berlangsung dan kriteria putusan investasi yang mempengaruhi proyek konservasi. Yang kedua yaitu survey energi. Bagian teknis dari AEA secara singkat mengulas kondisi dan operasi peralatan dari pemakai energi yang penting serta instrumentasi yang berkaitan dengan efisiensi energi. Auditor energi akan bertumpu pada pengalamannya dan mengumpulkan data yang relevan dan mengadakan observasi yang tepat, sehingga memberikan diagnosa situasi energi pabrik secara cepat (Raharjo, 2013).

AEA sangat berguna untuk mengenali sumber-sumber pemborosan energi dan tindakan-tindakan sederhana yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi energi dalam jangka pendek. AEA seharusnya juga dapat mengungkapkan kurang sempurnanya pengumpulan dan penyimpanan analisa data, dan area dimana pengawasan manajemen perlu diperketat (Raharjo, 2013).

2.1.2 Audit Energi Terinci (AET)

Audit Energi Terinci (AET) biasanya dilakukan sesudah AEA, dan akan membutuhkan beberapa minggu bergantung pada sifat dan kompleksitas pabrik. Pengujian diperlukan bergantung pada jenis fasilitas yang sedang dipelajari, serta tujuan, luas dan tingkat pembiayaan program manajemen energi. Secara umum cukup sulit untuk menyimpulkan besarnya penghematan yang dapat diidentifikasi melalui audit energi. Namun demikian penghematan

biasanya mendekati jumlah yang cukup berarti, sekalipun melalui audit energi yang paling sederhana. Sebagai petunjuk kasar, audit energi awal dapat mengidentifikasi penghematan sebesar 10% yang umumnya dapat dicapai melalui *house keeping* instalasi pabrik (Raharjo, 2013).

Hasil akhir AET akan berupa laporan terinci yang memuat rekomendasi disertai dengan manfaat dan biaya terkait serta program pelaksanaannya. Demikian audit energi terinci seringkali dapat mencapai penghematan sebesar 20 persen atau lebih untuk jangka menengah dan panjang (Raharjo, 2013).

2.2 Definisi Motor Listrik

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik yang umum digunakan di dunia industri adalah motor listrik asinkron. Motor listrik asinkron dibagi dengan dua standar global yakni IEC (*International Electrotechnical Commission*) dan NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) (C3 Controls, 2020).

2.2.1 Standar IEC (*International Electrotechnical Commission*)

IEC merupakan sebuah komisi elektroteknikal internasional yang mengawasi standar untuk *European Electric Communities*. IEC dibentuk pada tahun 1906 dan difokuskan terutama pada pasar Eropa sampai setelah Perang Dunia II. Komponen yang bersertifikat IEC sekarang bisa digunakan secara luas seiring bertambahnya jumlah perusahaan yang berada di Amerika Utara dan di Amerika Serikat. Manfaat menggunakan produk dengan IEC-rated adalah harganya yang murah, ringkas, dan secara inheren aman bagi pengguna (C3 Controls, 2020).

IEC Rating	
Utilization Category	IEC Category Description
AC1	Non-inductive or slightly induction rows
AC2	Starting of slip-ring motors
AC3	Starting of squirrel-cage motors and switching off only when the motor is up to speed. (Make LRA, Break FLA)
AC4	Starting of squirrel-cage motors with inching and plugging duty. Rapid Start/Stop. (Make and Break LRA)
AC11	Auxiliary (control) circuits

NEEDS. (n.d.). Retrieved From

<https://www.c3controls.com/white-paper/nema-vs-iec-motor-controls/>

2.2.2 Standar NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*)

NEMA adalah sebuah asosiasi produsen listrik dengan perdagangan produsen peralatan listrik terbesar di Amerika Serikat. Asosiasi ini didirikan pada tahun 1926 dengan tujuan untuk

mendesak produsen menggunakan sebuah standar Frame Size untuk Motor Control dan *Lighting Applications*. Hal ini akan memungkinkan standarisasi suku cadang dari pabrik yang berbeda dan juga memastikan bahwa produsen merancang komponen yang memenuhi *Safety Factor* dari *Rating Design*, dan asosiasi ini juga menentukan konfigurasi dan parameter kinerja dari komponen listrik (C3 Controls, 2020).

NEMA Contactor and Starter Sizes			
NEMA Size	Continuous AMP Rating	HP at 230 VAC	HP at 460 VAC
00	9	1	2
0	18	3	5
1	27	5	10
2	45	15	25
3	90	30	50
4	135	50	100
5	270	100	200
6	540	200	400
7	810	300	600
8	1215	450	900
9	2250	800	1600

Gambar 2.2 NEMA Ratings

Sumber: *NEMA VS IEC MOTOR CONTROLS: HOW TO SELECT THE BEST CHOICE FOR YOUR NEEDS*. (n.d.). Retrieved From

<https://www.c3controls.com/white-paper/nema-vs-iec-motor-controls/>

Starter NEMA, pada peringkat yang dinyatakan, dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, mulai dari aplikasi on dan off yang sederhana hingga aplikasi *plugging* dan *jogging*, yang lebih menuntut. Penting untuk mengetahui tegangan dan daya dari motor saat memilih starter motor NEMA yang tepat.

2.3 Klasifikasi Metode

Penerapan audit energi dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang dapat dilakukan adalah dengan memasang *Frequency Inverter*, pengurangan tekanan, memperbaiki kebocoran, VSD (*Variable Speed Drive*), *Variable Inlet Volume*, dan *Energy Efficiency Motor* (Raharjo, 2013).

2.3.1 Penghematan Energi pada Motor dengan memasang *Frequency Inverter*

Pemasangan *Frequency Inverter* telah dilakukan pada PT. P.G Kribet Baru I untuk audit energi (Raharjo, 2013). Audit energi pada PT. P.G Kribet Baru I dilakukan untuk melakukan penghematan pada berbagai aplikasi, salah satunya yaitu motor. Rekomendasi penghematan energi pada motor dilakukan dengan memasang *Frequency Inverter*. Pengambilan data

dilakukan dengan 2 data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran, perhitungan, dan pengamatan langsung di lapangan.

PT. P.G Krebbe I disuplai oleh 3 sumber energi yaitu dari PLN, PLTU dan PLTD, 6 stasiun yang terdiri dari Stasiun Penggilingan, Stasiun Pabrik Tengah, Stasiun Ketel, Stasiun Lisrik, Stasiun Puteran dan Stasiun Besali (Bengkel Sabut Listrik). Terdapat 5 rail yang tersambung dari generator menuju panel beban yang berjumlah 16. Kondisi kelistrikan pada tahun 2012 pada masa giling ialah 13784231 kWh. Pada masa giling gula tahun 2012 kondisi tebu yang digiling selama 172 hari rata – rata sebesar 6000 ton per harinya dan gula yang dihasilkan sejumlah 89229,70 ton.

Pada analisa beban motor, sebagian besar merupakan motor induksi tiga fasa. Pada PT. P.G. Krebbe Baru I, motor yang bekerja pada industri ini terbagi di beberapa stasiun. Pada stasiun gilingan terdapat 21 motor, stasiun pabrik tengah menggunakan 45 motor, stasiun putera menggunakan 59 motor, dan stasiun ketel menggunakan 50 motor. Motor bekerja selama 24 jam non-stop sampai masa produksi gula selesai. Pengukuran daya masuk pada motor diambil dari salah satu sampel motor yang ada di stasiun gilingan karena kondisi jumlah motor dan waktu pengukuran yang tidak memungkinkan. Perhitungan daya masuk pada motor dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$P_i = \frac{V \cdot I \cdot PF \cdot \sqrt{3}}{1000} \tag{2.1}$$

P_i = Daya tiga fasa (kW)

V = Nilai tegangan terukur (Volt)

I = Nilai arus terukur (Ampere)

PF = Faktor daya dalam desimal

Nama Motor	P (kW)	V(v)	I(A)
Pompa Nira Peti Bolougne	75,00	380,00	134,20

Gambar 2.3 Data Nameplate Motor

Sumber: Raharjo, B.A. (2013). *Studi Analisis Konsumsi dan Penghematan*, p. 3-4.

Nama Motor	Fasa	$V_{\phi L0}$	I_{ϕ} (A)	Cos Φ	η
Pompa Nira Peti Bolougne	R	387,00	111,6	0,86	0,95
	S	385,00	118,4		
	T	385,40	113,2		

Gambar 2.4 Data Hasil Pengukuran Motor

Sumber: Raharjo, B.A. (2013). *Studi Analisis Konsumsi dan Penghematan*, p. 3-4.

Hasil perhitungan energi yang digunakan pada seluruh motor pada masing-masing stasiun dibandingkan dalam kondisi belum terpasang inverter dan sudah terpasang inverter. Dengan memasang inverter di motor, motor dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

2.3.2 Penghematan Konsumsi Energi dengan Berbagai Cara

Audit energi pada kompresor telah dilakukan pada PT.ABC dengan cara mengurangi tekanan keluaran, mengurangi kebocoran udara tekan, mengganti motor listrik dengan *High Efficiency Motor*, mengganti kompresor lama yang sebelumnya *Single Stage* diganti dengan *Compressor Multiple Stage*, dan pemasangan VSD (*Variable Speed Drive*) (Hendri, 2014). Pengumpulan data dilakukan dengan 2 data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer dilakukan dengan cara melakukan pengukuran pada peralatan listrik yang digunakan untuk mengetahui kualitas dan parameter efisiensi pemanfaatan energi. Pengukuran dilakukan untuk melengkapi data sekunder yang telah dikumpulkan. Pengukuran dilakukan secara rinci pada lokasi-lokasi yang diperkirakan memiliki potensi penghematan yang besar, sehingga dapat diketahui secara lebih rinci besarnya potensinya dan untuk melakukan klarifikasi terhadap data sekunder yang telah diperoleh. (Hendri, 2014).

Data sekunder dilakukan dengan kuesioner maupun wawancara. Data-data tersebut yakni: deskripsi perusahaan, kapasitas daya terpasang, jumlah produksi, penggunaan energi (jenis dan sumber energi dan teknologi pemanfaat energi). Survei dilakukan untuk mendapatkan data konsumsi energi dan data produksi, yang mencakup data proses produksi, data konsumsi listrik, dan desain peralatan terpasang beserta pola operasinya. Data proses produksi meliputi *Process Flowsheet Diagram (PFD)*, *Single Line Diagram (SLD)*, dan lain-lain. Data konsumsi energi listrik diperlukan untuk melihat pola penggunaan energi, khususnya energi listrik setiap bulan ada perbedaan atau tidak pada periode yang sama namun pada tahun yang berbeda. Terakhir adalah desain peralatan terpasang beserta pola operasinya. Data-data ini sangat bermanfaat untuk mengevaluasi performa peralatan konversi energi maupun peralatan produksi.

Kebocoran pada sistem udara bertekanan sangat umum terjadi, pada kondisi yang dianggap normal saja angka kebocoran bisa mencapai 10%. Bahkan berdasarkan pengalaman praktis kebocoran bisa mencapai angka 20% pada sekitar 80% industri yang dilakukan pengukuran. Secara umum jumlah udara yang terbuang sangat tergantung kepada besarnya lubang kebocoran dan tekanan operasi kompresor (Hendri, 2014). Tabel di bawah ini bisa dijadikan sebagai petunjuk untuk menaksir kerugian dalam kW per menit.

Hole diameter	Air consumption at 6 bar (g) m ³ /min	Loss kW
1 mm	0.065	0.3
2 mm	0.240	1.7
4 mm	0.980	6.5
6 mm	2.120	12.0

Gambar 2.5 Tabel Perkiraan Kerugian Akibat Kebocoran

Sumber: Hendri. (2014). *Potensi Penghematan Energi Pada Kompresor Di PT. ABC*. 9(1), p. 76.

Bagian-bagian yang umum terjadi kebocoran di kompresor berada di : *filter, regulator, lubricator, manual drain valves, quick disconnect (QD) fittings, hose clamps, push-on hose fittings, pipe fitting, pipe unions, flange gaskets, old rusted piping, pneumatic cylinder rod packing, pneumatic cylinder body, directional control valve, valve pilot lines and ports, valve stems and packing.*

Hasil yang didapat dari potensi penghematan energi pada kompresor udara yaitu pertama dengan mengurangi tekanan keluaran. Jika tekanan keluaran udara bertekanan diset pada tekanan yang lebih tinggi dari seharusnya, maka energi akan terbuang. Tekanan ini harus dijaga serendah mungkin sesuai dengan kebutuhannya. Setiap pengurangan tekanan sebesar 1 bar menghasilkan penghematan sekitar 6-7 %.

Parameter	Your Data	Unit	Comment
Motor Power :	73.80	[kW]	Sum of all compressor, cooling fan and dryer motor ratings
Motor Efficiency :	90%	[%]	Weighted average combined motor efficiency (default = 90%)
% Full Load :	65%	[%]	Estimate of average percentage motor load factor (default = 65%)
Annual Operation Hours :	6,240	[h/y]	24h/7d = 8,760 hours; 24h/5d = 6,240 hours; 8h/5d = 2,080 hours.
Pressure Reduction :	1.00	[bar]	Average reduction in discharge pressure set-point
Annual Energy Consumption :	332,592	[kWh/y]	= (Motor Power [kW]) / (Motor Efficiency [%]) ABC (% Full Load [%]) ABC (Operation Hours [h])
% Savings :	6.5%	[%]	= (Pressure Reduction [bar]) ABC (6 - 7% saving per bar)
Annual Energy Savings Average :	21,618	[kWh/y]	= (Annual Energy Consumption [kWh]) ABC (% Savings [%])
Electricity Price :	Rp1,900	[Rp/kWh]	Insert from Energy Bills Analysis Tool
Annual Cost Savings :	Rp. 41,075,112	[Rp/y]	= (Annual Energy Savings [kWh/y]) ABC (Average Electricity Price [Rp/kWh])

Gambar 2.6 Perhitungan Potensi Penghematan Penurunan Tekanan

Sumber: Hendri. (2014). *Potensi Penghematan Energi Pada Kompresor Di PT. ABC*, p. 79.

Faktor penting kedua dari potensi penghematan kompresor udara yaitu dengan mengurangi kebocoran udara tekan potensi penghematan energi yang diakibatkan oleh kebocoran pada sistem udara tekan cukup besar. Oleh karena itu, apabila terdapat kebocoran di beberapa tempat, maka perbaikan segera dilakukan karena banyak udara yang terbuang secara percuma hanya karena adanya kebocoran.

Parameter	Your Data	Unit	Comment
Rated Free Air Delivery (FAD)	200	[l/s]	Rated Free Air Delivery rate of the compressor (200 l/s typical for a 75kW Compressor)
Time on Load	1	[min]	Time interval for compressor to load
Time off Load	12	[min]	Time interval for compressor to unload
% Air Leaks	8%	[%]	= (Time on Load [min] ABC 100) / (Time On Load [min] + Time Off Load [min])
Air Leakage rate	15	[l/s]	= (% Air Leaks [%]) ABC (Rated Free Air Delivery [l/s])
ApproABCimate Energy Wasted	10,769	[kWh/y]	= (Air Leakage Rate [l/s]) ABC 700 [kWh/(l/s)]
Average Electricity Price	Rp1,900	[Rp/kWh]	Insert from Energy Bills Analysis Tool
ApproABCimate Energy Cost of Leakage	Rp. 20.461.100	[Rp/y]	= (ApproABCimate Energy Wasted [kWh/y]) ABC (Average Electricity Price [Rp/kWh])

Gambar 2.7 Perhitungan Potensi Penghematan Akibat Kebocoran

Sumber: *Potensi Penghematan Energi Pada Kompresor Di PT. ABC*, p. 79.

Faktor penting ketiga yaitu dengan mengganti motor penggerak kompresor dengan *high efficiency motor*. Motor listrik sebagai penggerak kompresor memiliki efisiensi tinggi, meskipun demikian sekarang ini di pasaran sudah tersedia *high efficiency motor* yang memiliki efisiensi lebih tinggi yang bisa mencapai lebih dari 95%.

Parameter	Your Data	Unit	Comment
Motor Power	73.80	[kW]	Compressor motor rating
Motor Efficiency	95%	[%]	Compressor motor efficiency Included with the standard compressor package (default = 92%).
% Full Load	65%	[%]	Estimate of average percentage motor load factor (default = 65%)
Annual Operation Hours	6,240	[h/y]	24h/7d = 8,760 hours; 24h/5d = 6,240 hours; 8h/5d = 2,080 hours.
Annual Energy Savings	4,898	[kWh/y]	= (Motor Power [kW]) ABC (% Full Load [%]) ABC (Operation Hours [h]) ABC ((1/Compressor Motor Efficiency [%]) - (1/(Compressor Motor Efficiency [%] + 1.5%)))
Average Electricity Price	Rp1,900	[Rp/kWh]	Insert from Energy Bills Analysis Tool
Annual Cost Savings	Rp 9,305,683	[Rp]	= (Annual Energy Savings) ABC (Average Electricity Price [Rp/kWh])

Gambar 2.8 Perhitungan Potensi Penghematan dengan Efisiensi Motor

Sumber: *Potensi Penghematan Energi Pada Kompresor Di PT. ABC*, p. 80.

Faktor penting keempat adalah mengganti kompresor dengan *multiple stage compressor*. Kompresor udara *multi stage* menghasilkan energi yang lebih efisien dibandingkan dengan kompresor *single stage*. Hal ini tentu dapat membuat kinerja dari kompresor menjadi lebih efektif dan efisien sesuai dengan kebutuhan.

Parameter	Your Data	Unit	Comment
Motor Power :	73.80	[kW]	Compressor motor rating
Motor Efficiency :	92%	[%]	Compressor motor efficiency (default = 92%).
% Full Load :	65%	[%]	Estimate of average percentage motor load factor (default = 65%)
Annual Operation Hours :	6,240	[h/y]	24h/7d = 8,760 hours; 24h/5d = 6,240 hours; 8h/5d = 2,080 hours.
% Savings over Single-stage:	13%	[%]	6% for Reciprocating Compressor; 13% for Rotary Screw Compressor
Annual Energy Savings :	42,297	[kWh/y]	= (Motor Power [kW]) / (Motor Efficiency [%]) ABC (% Full Load [%]) ABC (Operation Hours [h]) ABC (% Savings over Single stage)
Average Electricity Price :	Rp.1,900	[Rp/kWh]	Insert from Energy Bills Analysis Tool
Annual Cost Savings :	Rp.80,364,350	[Rp]	= (Annual Energy Savings) ABC (Average Electricity Price [Rp/kWh])

Gambar 2.9 Perhitungan Potensi Penghematan dengan Kompresor Udara *Multi Stage*

Sumber: *Potensi Penghematan Energi Pada Kompresor Di PT. ABC*, p. 80.

Faktor penting kelima yaitu pemasangan *Variable Speed Drive (VSD)* pada kompresor. Dengan memasang VSD, kompresor akan bekerja lebih baik dan efisien.

Parameter	Your Data	Unit	Comment
Motor Power :	73.80	[kW]	Compressor motor rating
Motor Efficiency :	92%	[%]	Compressor motor efficiency Included with the standard compressor package (default = 92%).
VSD Efficiency :	96%	[%]	Variable Speed Drive efficiency (default = 96%).
Average Part Load Condition :	75%	[%]	Average compressor loading eABCpressed as a percentage of the rated capacity (l/s or CFM)
Annual Operation Hours :	6,240	[h/y]	24h/7d = 8,760 hours; 24h/5d = 6,240 hours; 8h/5d = 2,080 hours.
Average Power Saving :	13.48	[kW]	= (Motor Power [kW]) / (Motor Efficiency [%]) ABC 70% ABC (100% - Average Part Load Condition [%]) ABC VSD Efficiency [%]
Annual Energy Savings :	84,093	[kWh/y]	= (Average Power Saving [kW]) ABC (Annual Operating Hours [h/y])
Average Electricity Price :	Rp1,900	[Rp/kWh]	Insert from Energy Bills Analysis Tool
Annual Cost Savings :	Rp.159.776.700	[Rp/y]	= (Annual Energy Savings [kWh/y]) ABC (Average Electricity Price [Rp/kWh])

Gambar 2.10 Perhitungan Potensi Penghematan dengan VSD

Sumber: *Potensi Penghematan Energi Pada Kompresor Di PT. ABC*, p. 81.

2.4 Proses Produksi Kaca di PT. Asahimas Flat Glass Tbk.

PT. Asahimas Flat Glass Tbk merupakan industri besar yang bergerak pada proses pembuatan kaca. Perusahaan ini berlokasi di Sidoarjo dan memiliki kapasitas produksi 300.000 ton/tahun, sehingga dibutuhkan energi dalam skala besar. Energi tersebut digunakan untuk berbagai aktifitas proses produksi, terutama pada proses *furnace* untuk produksi kaca lembaran. PT. Asahimas Flat Glass, Tbk memiliki dua jalur *furnace* dengan 2 *float process* yang berbeda. Tahap *Furnace* menggunakan bahan bakar gas dan merupakan tahap awal dari proses pembuatan dari *float glass*. Proses produksi secara *floating glass* secara garis besar dibagi menjadi 5 tahapan produksi yaitu :

a. Pencampuran *Raw Material*

Sebuah proses produksi selalu diawali dengan pencampuran bahan baku berupa *silica sand, dolomite soda ash, calumite, salt cake, feldspar* dan pecahan kaca. Semua bahan baku tersebut dilebur menjadi satu dan pada proses ini juga dilakukan penimbangan serta *quality control*.

b. Proses Peleburan

Bahan baku yang telah dicampur dimasukkan ke dalam dapur masak dan dilebur pada suhu kurang lebih 1600°C. Proses peleburan membutuhkan suhu yang sangat tinggi, sehingga *furnace* terbuat dari batu tahan api atau yang disebut *refractories*. Proses ini membutuhkan konsumsi energi sangat tinggi karena mengubah *raw material* padat menjadi *molten glass* yang lebur.

c. Proses *Floating*

Bahan baku yang telah dilebur tentu masih meninggalkan gas yang berbentuk gelembung. Gelembung tersebut perlu dihilangkan agar tidak menimbulkan cacat pada kaca. Proses *Stirring* dan *Skimming* dilakukan agar gelombang pada *molten glass* menghilang dan lebih homogen. Selain itu *molten glass* dipertahankan suhunya sebelum masuk ke dalam *metal bath* yang bertujuan untuk mengatur ukuran. *Molten glass* masuk

ke dalam *metal bath* kemudian dikondisikan mengapung di atas timah cair, proses ini dinamakan *float process*.

Proses ini membutuhkan suplai udara yang disuplai dari kompresor. Salah satu penggunaan kompresor di proses ini adalah produk kaca akan dilebur menjadi kaca cair dengan melewati *floating table*. Kaca cair dibuat seperti *sheet* dengan melalui meja yang memiliki lubang. Lubang tersebut berisikan udara dari kompresor dengan tujuan supaya kaca rata dan memiliki ketebalan yang diatur sesuai dengan spesifikasi dari produk tersebut. *Molten glass* yang diambangkan di atas timah disebut dengan *ribbon glass*.

d. Proses Pendinginan (*Annealing Lehr Process*).

Proses selanjutnya setelah *floating process* adalah proses pendinginan. Proses pendinginan membutuhkan pompa yang salah satu fungsinya digunakan di proses ini untuk menyuplai air dingin. Alasannya yaitu produksi kaca membutuhkan air dingin agar produk menjadi *quenching*. Proses pendinginan harus memperhatikan distribusi temperatur tersebut agar kaca tidak retak dan pecah, sehingga proses pendinginan yang dilakukan adalah secara bertahap atau disebut *annealing*.

e. Proses *Cutting*

Proses *cutting* merupakan akhir proses dari produksi kaca sebelum didistribusikan ke pelanggan. Kaca dipotong secara vertikal dan horizontal. Sebelum dilakukan pemotongan perlu ada proses pencucian untuk menghilangkan kotoran pada kaca.

2.5 Metode Perhitungan

Metode perhitungan digunakan untuk menghitung nilai efisiensi dari pompa dan kompresor. Untuk itu terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi pada pompa yaitu *Traditional Method* dan *Thermodynamic Method*. Sementara perhitungan efisiensi pada kompresor dapat menggunakan metode *Isentropic Method* dan *Volumetric Method*.

2.5.1 *Traditional Method*

Metode tradisional pada pengujian kinerja pompa menggunakan *head* pompa yang diukur, aliran dan daya masukan untuk menghitung efisiensi. Kelemahan utama dari metode ini

adalah ketergantungan pada akurasi dari perangkat yang digunakan untuk mengukur *head*, *flow*, dan masukan daya (Cartwright and Eaton, 2009).

Head pompa dapat diukur dengan menggunakan *pressure gauge* yang dipasang pada *inlet* dan *outlet* pompa. *Flow capacity* pada pompa diukur dengan menggunakan *flow meter*. Masukan daya diukur dengan *Voltmeter* dan *Ampere Meter*.

Untuk metode ini, efisiensi pompa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2) :

$$\eta_p = \frac{q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{M_e \cdot P_w} \quad (2.2)$$

- η_p = Efisiensi pompa
- q = *Flow rate* (m^3/s)
- ρ = Densitas fluida (kg/m^3)
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- H = Total *head* pompa (m)
- M_e = Efisiensi motor
- P_w = Tenaga listrik ke motor (Watts)

Akurasi pengukuran efisiensi pada pompa berpengaruh pada pengukuran q , H , P_w , dan M_e . Akurasi energi yang dipompa dipengaruhi oleh pengukuran q dan P_w .

2.5.2 *Thermodynamic Method*

Metode termodinamika menggunakan prinsip bahwa hampir semua efisiensi yang hilang dalam pompa dipindahkan ke energi panas dan diserap oleh air / fluida yang sedang dipompa. Hal ini berarti bahwa perbedaan yang diukur antara suhu air yang masuk dan suhu air yang keluar dapat menunjukkan efisiensi pompa secara efektif. Sebagai contoh, perbedaan kecil antara suhu yang masuk dan suhu yang keluar dari pompa menunjukkan bahwa pompa beroperasi dengan efisiensi yang tinggi dan sebaliknya.

Dengan metode ini, *flow* tidak diperlukan untuk menentukan efisiensi, namun *flow* dapat diturunkan dengan mengetahui elemen lain dari persamaan (2.3). *Flow rate* (q) ditentukan dari persamaan (2.3) dengan cara :

$$q = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{\eta_p \cdot M_e \cdot P_w} \quad (2.3)$$

Untuk menentukan efisiensi pada pompa, metode ini bergantung pada pengukuran 2 parameter yaitu : perbedaan temperatur (dT) dan perbedaan tekanan (dP) pada pompa. Efisiensi pompa adalah perbandingan 2 perubahan (dalam energi per satuan massa), masing-masing terdiri dari *enthalpy*, energi kinetik, dan *gravitational terms*. Untuk pompa berlaku persamaan berikut :

$$\eta_p = \frac{E_H}{E_M} \quad (2.4)$$

E_H = Energi hidrolik per satuan massa fluida

E_m = Energi mekanikal per satuan massa

Dengan tidak adanya koreksi kecil untuk energi kinetik dan *gravitational terms*, maka E_H dan E_M didefinisikan menurut persamaan (2.5) dan persamaan (2.6).

$$E_H = \frac{dP}{\rho} \quad (2.5)$$

$$E_M = a \cdot dP + C_p \cdot dT \quad (2.6)$$

C_p = Kapasitas *specific heat* pada saat tekanan konstan (perubahan entalpi dengan suhu pada saat tekanan konstan)

a = Koefisien isothermal (perubahan entalpi dengan tekanan pada saat suhu konstan)

ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

2.5.3 Isentropic Method

Metode isentropik merupakan salah satu karakteristik kinerja yang paling penting dari *screw compressor*. Metode ini dilakukan untuk mencari efisiensi isentropik dari *screw compressor*. Perhitungan efisiensi isentropik dapat dicari dengan cara daya kompresi isentropik dibagi dengan daya poros input. Efisiensi isentropik dapat dihitung dengan persamaan (2.7) :

$$\eta_{isen} = \frac{\dot{W}_{isen}}{\dot{W}_{shaft}} \quad (2.7)$$

η_{isen} = Efisiensi isentropi

\dot{W}_{isen} = Daya kompresi isentropik (Watt)

\dot{W}_{isen} = Daya poros input (Watt)

Daya kompresi isentropik dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.10) :

$$\dot{W}_{isen} = \frac{k}{k-1} P_{suc} q_v \left(\left(\frac{P_{dis}}{P_{suc}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \quad (2.8)$$

\dot{W}_{isen} = Daya kompresi isentropik (Watt)

k = *Specific Heat Ratio*

P_{suc} = *Pressure di suction* (atm)

P_{dis} = *Pressure di discharge* (atm)

q_v = *Volumetric Flowrate* (m³/s)

2.5.4 *Volumetric Method*

Metode volumetrik merupakan salah satu karakteristik kinerja yang paling penting dari *screw compressor*. Metode ini dilakukan untuk mencari efisiensi volumetrik dari *screw compressor*. Perhitungan efisiensi volumetrik dapat dicari dengan cara laju aliran volumetrik aktual dibagi dengan laju aliran volumetrik ideal. Efisiensi volumetrik dapat dihitung dengan persamaan (2.9) :

$$\eta_{vol} = \frac{q_v}{q_{vt}} \quad (2.9)$$

η_{vol} = Efisiensi volumetrik

q_v = Laju aliran volumetrik aktual (m³/s)

q_{vt} = Laju aliran volumetrik ideal (m³/s)

Selanjutnya, laju aliran volumetrik ideal dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.10) :

$$q_{vt} = C_\phi C_A \omega \psi D^3 \quad (2.10)$$

q_{vt} = Laju aliran volumetrik ideal (m³/s)

C_ϕ = *Coefficient of the twist angle*

C_A = *Coefficient of the usage area*

- ω = Rotational speed (degree/s)
 ψ = Aspect Ratio
D = Diameter dari *male screw* (m)

2.6 Rekomendasi Audit Energi

Menurut Hasabeigi dan Price (2010), terdapat beberapa rekomendasi yang dapat diberikan untuk menerapkan audit energi di industri, terutama pada beberapa BPT yang digunakan di industri yaitu motor, pompa dan kompresor. Untuk itu rekomendasi audit energi dapat dijelaskan sebagaimana berikut ini :

2.6.1 Motor

Ketika mempertimbangkan peningkatan efisiensi energi untuk sistem motor suatu fasilitas, pendekatan sistem yang menggabungkan pompa, kompresor, dan kipas harus digunakan untuk mencapai penghematan dan kinerja yang optimal. Berikut ini, pertimbangan sehubungan dengan penggunaan energi dan peluang penghematan energi untuk sistem motor :

A. *Motor Management Plan*

Rencana manajemen motor merupakan bagian penting dari strategi manajemen energi pabrik. Memiliki rencana manajemen motor dapat membantu perusahaan mewujudkan penghematan energi sistem motor jangka panjang dan akan memastikan bahwa kegagalan motor ditangani dengan cara yang cepat dan hemat biaya. Keputusan Motor MatterSM menyarankan elemen-elemen kunci berikut untuk rencana manajemen motor yang baik (CEE, 2007) :

1. Pembuatan survei motor dan program pelacakan.
2. Pengembangan pedoman untuk perbaikan / penggantian keputusan yang proaktif.
3. Persiapan untuk antisipasi kegagalan motor dengan membuat persediaan suku cadang.
4. Pengembangan spesifikasi pembelian.
5. Pengembangan spesifikasi perbaikan.
6. Pengembangan dan implementasi program pemeliharaan prediktif dan preventif.

B. Maintenance

Tujuan pemeliharaan motor adalah untuk memperpanjang umur motor dan untuk meramalkan kegagalan motor. Oleh karena itu, tindakan pemeliharaan motor dapat dikategorikan sebagai preventatif atau prediktif. Langkah-langkah pencegahan, termasuk ketidakseimbangan tegangan, ketidakseimbangan pertimbangan beban, keselarasan motorik, pelumasan dan ventilasi motorik.

Tujuan pemeliharaan motor prediktif adalah untuk mengamati suhu motor yang sedang bekerja, getaran, dan data operasi lainnya, yang diperlukan untuk merombak atau mengganti motor sebelum kegagalan terjadi. Penghematan yang terkait dengan program perawatan motor yang sedang berlangsung dapat berkisar dari 2% hingga 30% dari total penggunaan energi sistem motor.

C. Energy-efficient Motors

Penggunaan motor hemat energi dapat mengurangi energi yang hilang melalui desain yang lebih baik, material yang lebih baik, toleransi yang lebih ketat, dan teknik manufaktur yang lebih baik. Dengan pemasangan yang tepat, motor hemat energi juga dapat tetap dingin, dapat membantu mengurangi beban pemanasan fasilitas, dan memiliki faktor layanan yang lebih tinggi, masa pakai bantalan yang lebih lama, umur isolasi yang lebih lama, dan getaran yang lebih sedikit.

Pilihan memasang motor efisiensi premium sangat tergantung pada kondisi operasi motor dan biaya siklus hidup yang terkait dengan investasi. Secara umum, motor efisiensi *premium* paling menarik secara ekonomi ketika mengganti motor dengan operasi tahunan melebihi 2.000 jam / tahun. Kadang-kadang, bahkan mengganti motor yang beroperasi dengan model efisiensi premium mungkin memiliki periode pengembalian yang rendah.

Menurut data dari Asosiasi Pengembangan Tembaga, *upgrade* ke motor efisiensi tinggi, dibandingkan dengan motor yang mencapai efisiensi minimum seperti yang ditentukan oleh Undang-Undang Kebijakan Energi tahun 1992 dapat memiliki pengembalian kurang dari 15 bulan untuk motor 50 hp.

D. Rewinding of Motors

Dalam beberapa kasus, mungkin secara harga lebih efektif untuk memutar ulang tembaga pada motor yang ada daripada membeli motor baru. Sebagai aturan praktis, ketika

biaya memutar tembaga pada motor melebihi 60% dari biaya motor baru, membeli motor baru mungkin menjadi pilihan yang lebih baik (CEE, 2007).

Saat memperbaiki atau memutar ulang tembaga motor, penting untuk memilih pusat servis motor yang mengikuti praktik terbaik motor *rewinding* standar untuk meminimalkan potensi kerugian efisiensi. Standar seperti itu telah ditawarkan oleh *Electric Apparatus Service Association* (EASA). Ketika praktik *rewinding* terbaik dilaksanakan, penurunan biasanya kurang dari 1% (EASA, 2003).

E. Proper Motor Sizing

Efisiensi dari motor standar dan hemat energi biasanya memuncak mendekati 75% dari beban penuh dan relatif datar ke titik beban 50%. Motor dalam rentang ukuran yang lebih besar dapat beroperasi dengan efisiensi yang cukup tinggi pada beban hingga 25% dari beban pengenal.

F. Adjustable Speed Drives (ASD)

Adjustable Speed Drives sebaiknya disamakan kecepatannya dengan kebutuhan beban untuk operasi motor, oleh karena itu perlu dipastikan bahwa penggunaan energi motor dioptimalkan untuk aplikasi yang diberikan. Karena penggunaan energi motor kira-kira sebanding dengan laju aliran, pengurangan aliran yang relatif kecil, yang sebanding dengan kecepatan pompa, sudah menghasilkan penghematan energi yang signifikan.

Sistem ASD ditawarkan oleh banyak pemasok dan tersedia di seluruh dunia. Worrell et al. (1997) memberikan gambaran tentang penghematan yang dicapai dengan ASD dalam beragam aplikasi; penghematan energi yang khas ditunjukkan bervariasi antara 7% dan 60% dengan perkiraan periode pengembalian sederhana untuk mulai dari 0,8 hingga 2,8 tahun (Hackett et al., 2005).

G. Power Factor Correction

Faktor daya adalah rasio daya kerja terhadap daya semu. Ini mengukur seberapa efektif daya listrik yang digunakan. Faktor daya tinggi menandakan penggunaan daya listrik yang efisien, sementara faktor daya rendah menunjukkan rendahnya penggunaan daya listrik. Beban induktif seperti transformer, motor listrik, dan lampu HID dapat menyebabkan faktor daya rendah.

Faktor daya dapat dikoreksi dengan meminimalkan *idling* dari motor listrik (motor yang dimatikan tidak mengkonsumsi energi), mengganti motor dengan motor premium yang efisien, dan memasang kapasitor di sirkuit AC untuk mengurangi besarnya daya reaktif dalam sistem.

H. *Minimizing Voltage Unbalances*

Ketidakseimbangan tegangan menurunkan kinerja dan memperpendek umur motor tiga fase. Ketidakseimbangan tegangan menyebabkan ketidakseimbangan saat ini, yang akan menghasilkan pulsasi torsi, getaran yang meningkat dan tekanan mekanis, peningkatan kerugian, dan motor yang terlalu panas, yang dapat mengurangi umur insulasi berliku motor.

Ketidakseimbangan tegangan dapat disebabkan oleh operasi yang salah dari peralatan koreksi faktor daya, trafo tidak seimbang, atau sirkuit terbuka. Sebuah aturan praktis adalah bahwa ketidakseimbangan tegangan pada terminal motor tidak boleh melebihi 1% meskipun bahkan ketidakseimbangan 1% akan mengurangi efisiensi motor pada operasi beban sebagian. Ketidakseimbangan 2,5% akan mengurangi efisiensi motor pada operasi beban penuh.

Dengan memonitor voltase secara teratur di terminal motor dan melalui inspeksi *thermographic motor* secara teratur, ketidakseimbangan tegangan dapat diidentifikasi. Juga direkomendasikan untuk memverifikasi bahwa beban fase tunggal terdistribusi seragam dan pemasangan indikator gangguan tanah sesuai kebutuhan. Indikator lain untuk ketidakseimbangan tegangan adalah getaran sebesar 120 Hz, yang harus segera dilakukan pemeriksaan keseimbangan tegangan (US DOE-OIT, 2005b).

2.6.2 Kompresor

Lebih dari 85% dari *input* energi listrik ke kompresor udara hilang sebagai *waste heat*, menyisakan kurang dari 15% energi listrik yang dikonsumsi untuk dikonversi menjadi energi pneumatic udara kompres. Ini menjadikan udara terkompresi sebagai pembawa energi yang mahal dibandingkan dengan pembawa energi lainnya.

Ternyata banyak peluang untuk mengurangi penggunaan energi dari sistem udara terkompresi. *The American Society of Mechanical Engineering* (ASME) telah menerbitkan standar yang mencakup penilaian sistem udara terkompresi yang didefinisikan sebagai sekelompok subsistem kumpulan komponen terpadu untuk penggunaan energi yang konsisten, andal, dan efisien. Dalam standar ini prosedur melakukan penilaian energi terperinci dari sistem

udara terkompresi serta peluang efisiensi energi dapat dilakukan dengan mengikuti serangkaian metode berikut ini :

A. *Reduction of Demand*

Karena biaya operasi sistem udara terkompresi yang relatif mahal, kuantitas minimum udara terkompresi harus digunakan untuk waktu sesingkat mungkin, secara konstan dipantau dan ditimbang kembali terhadap alternatif apa saja yang dapat dilakukan untuk mengurangi *demand*.

B. *Maintenance*

Perawatan yang tidak memadai dapat menurunkan efisiensi kompresi, meningkatkan kebocoran udara atau variabilitas tekanan dan menyebabkan peningkatan suhu operasi, kontrol kelembaban yang buruk dan kontaminasi yang berlebihan. Perawatan yang lebih baik akan mengurangi masalah ini dan menghemat energi.

C. *Monitoring*

Monitoring dapat didukung dengan pemantauan yang menggunakan instrumentasi yang tepat, termasuk yang berikut ini :

- Pengukur tekanan pada setiap *receiver* atau jalur cabang utama dan pengukur diferensial di seluruh pengering, *filter*, dll.
- Pengukur suhu di kompresor dan sistem pendinginnya untuk mendeteksi *fouling* dan penyumbatan.
- *Flow meter* untuk mengukur kuantitas udara yang digunakan.
- Alat pengukur suhu titik embun untuk memonitor efektivitas pengering udara.
- kWh meter dan jam berjalan meter pada *drive* kompresor.

D. *Reduction of Leaks (in pipes and equipment)*

Kebocoran menyebabkan peningkatan energi kompresor dan biaya perawatan. Area umum yang mengalami kebocoran di kompresor adalah:

- Kopling
- Selang

- Tabung
- Perlengkapan
- Pengatur tekanan
- *Open Condensate Traps dan Shut-Off Valves*
- Sambungan pipa
- *Disconnects*
- *Thread sealant*

Selain konsumsi energi yang meningkat, kebocoran dapat membuat sistem / peralatan pneumatik menjadi kurang efisien dan berdampak buruk terhadap produksi, memperpendek usia peralatan, menyebabkan persyaratan perawatan tambahan dan peningkatan *downtime* yang tidak terjadwal.

Tipikal *plant* yang belum terawat dengan baik dapat memiliki tingkat kebocoran antara 20% hingga 50% dari total kapasitas produksi udara terkompresi (Ingersoll Rand 2001). Perbaikan dan perawatan kebocoran terkadang dapat mengurangi jumlah ini menjadi kurang dari 10%. Angka serupa dikutip oleh Cergel et al. (2000). Secara keseluruhan, pengurangan 20% dari konsumsi energi tahunan dalam sistem udara terkompresi diproyeksikan untuk memperbaiki kebocoran (Radgen dan Blaustein, 2001).

Cara sederhana untuk mendeteksi kebocoran besar adalah dengan mengaplikasikan air bersabun ke area yang dicurigai. Cara terbaik adalah dengan menggunakan detektor akustik ultrasonik, yang dapat mengenali suara desisan frekuensi tinggi yang terkait dengan kebocoran udara.

E. *Electronic Condensate Drain Traps (ECDT)*

Karena kebutuhan untuk menghilangkan kondensat dari sistem, kebocoran terus menerus, dicapai dengan memaksa katup *receiver drain* untuk dibuka, sering menjadi hal yang normal tetapi sangat boros dan mahal dalam hal kebocoran udara. ECDT menawarkan peningkatan keandalan dan sangat efisien karena hampir tidak ada udara yang terbuang ketika kondensat ditolak. *Payback period* tergantung pada jumlah kebocoran yang dikurangi, dan ditentukan oleh tekanan, jam operasi, ukuran fisik dari kebocoran dan biaya listrik.

F. *Reduction of Inlet Air Temperature*

Mengurangi suhu udara masuk dapat mengurangi energi yang digunakan oleh kompresor. Di berbagai *plant*, adalah mungkin untuk mengurangi suhu udara masuk ini dengan

menghisap dari luar gedung. Memasukkan udara segar memiliki *payback period* hingga 5 tahun, tergantung pada lokasi saluran masuk kompresor udara. Sebagai aturan praktis, setiap pengurangan 3 ° C akan menghemat penggunaan energi kompresor 1% (CADET, 1997; Parekh, 2000).

G. *Maximizing Allowable Pressure Dew Point at Air Intake*

Pemilihan *dryer* yang terbaik adalah yang memiliki tekanan maksimum yang diizinkan di titik embun, dan efisiensi terbaik. Aturan praktisnya adalah *dryer* mengkonsumsi 7% hingga 14% dan pengering yang didinginkan mengkonsumsi 1% hingga 2% dari total energi kompresor

Pertimbangkan untuk menggunakan pengering dengan titik embun mengambang . Perhatikan bahwa di mana garis pneumatik terkena kondisi beku, pengering berpendingin tidak menjadi pilihan.

H. *Optimizing the Compressor to Match Its Load*

Personel pabrik memiliki kecenderungan untuk membeli peralatan yang lebih besar dari yang dibutuhkan, didorong oleh *safety margin* atau kapasitas tambahan di masa depan yang diperkirakan. Mengingat fakta bahwa kompresor mengkonsumsi lebih banyak energi selama operasi beban sebagian, ini adalah sesuatu yang harus dihindari.

Beberapa instalasi telah memasang sistem standar dengan beberapa kompresor yang lebih kecil untuk menyesuaikan kebutuhan udara tekan dengan cara standar. Dalam beberapa kasus, tekanan yang dibutuhkan sangat rendah sehingga kebutuhan dapat dipenuhi oleh *blower* yang memungkinkan penghematan energi yang cukup besar, karena *blower* hanya memerlukan sebagian kecil dari daya yang dibutuhkan oleh kompresor.

I. *Proper Pipe Sizing*

Pipa harus berukuran benar untuk kinerja optimal atau diubah ukurannya agar sesuai dengan sistem kompresor. Ukuran pipa yang tidak memadai dapat menyebabkan kehilangan tekanan, meningkatkan kebocoran dan meningkatkan biaya pembangkit. Meningkatnya diameter pipa biasanya mengurangi konsumsi energi kompresor tahunan sebesar 3% .

J. Heat Recovery

Lebih dari 85% energi listrik yang digunakan oleh kompresor udara industri diubah menjadi panas. Kompresor 150 hp dapat menolak panas sebanyak 90 kW *electric resistance heater* atau 422 MJ / jam pemanas gas alam ketika beroperasi. Dengan kompresor berpendingin air yang besar, efisiensi pemulihan 50 hingga 60% adalah umum . Ketika digunakan untuk pemanasan ruangan, jumlah panas yang dipulihkan menjadi 20% dari energi yang digunakan dalam sistem udara tekan setiap tahun.

K. Adjustable Speed Drives (ASD)

Ketika ada variasi yang kuat dalam beban dan / atau suhu ambien akan ada *large swing* dalam beban dan efisiensi kompresor. Dalam kasus-kasus itu, memasang ASD dapat menghasilkan periode pembayaran kembali yang cukup baik. Menerapkan ASD dalam sistem kompresor rotari telah menghemat 15% dari konsumsi energi sistem udara terkompresi setiap tahun.

2.6.3 Pompa

Sistem pompa terdiri dari pompa, driver, instalasi dan kontrol pipa (seperti ASD atau *throttle*) dan merupakan bagian dari keseluruhan sistem motor. Di bawah ini beberapa peluang efisiensi energi untuk sistem pemompaan disajikan. Juga, *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) telah menerbitkan standar yang mencakup penilaian sistem pemompaan, yang didefinisikan sebagai satu atau lebih pompa dan elemen-elemen yang saling berinteraksi atau saling terkait yang bersama-sama menyelesaikan pekerjaan yang diinginkan untuk memindahkan fluida. Dalam standar ini terperinci peluang efisiensi energi dijelaskan sebagaimana berikut ini :

A. Maintenance

Perawatan yang tidak memadai menurunkan efisiensi sistem pompa, menyebabkan pompa menjadi lebih cepat rusak dan meningkatkan biaya. Pemeliharaan yang lebih baik akan mengurangi masalah ini dan dapat menghemat energi. Perawatan pompa yang tepat dijelaskan sebagaimana berikut:

- Penggantian impeler yang aus.

- Pemeriksaan dan perbaikan *bearing*.
- Penggantian pelumas dalam sekali setahun atau setengah tahunan.
- Inspeksi dan penggantian segel pengepakan.
- Inspeksi dan penggantian *seal*.
- Penggantian *wear ring* dan *impeller*.
- Pemeriksaan perataan pompa / motor.
- Peluang terbesar biasanya adalah menghindari *throttling losses*.

Penghematan energi yang khas untuk operasi dan pemeliharaan pompa diperkirakan antara 2% dan 7% dari penggunaan listrik yang dipompa untuk industri di Amerika Serikat. *Payback* biasanya kurang dari satu tahun.

B. Monitoring

Pemantauan bersama dengan operasi dan pemeliharaan dapat digunakan untuk mendeteksi masalah dan menentukan solusi untuk menciptakan sistem yang lebih efisien. Pemantauan dapat menentukan *gap* yang perlu disesuaikan, menunjukkan penyumbatan, kerusakan *impeller*, penyedotan yang tidak memadai, preferensi operasi di luar, pompa atau pipa yang tersumbat atau diisi gas, atau pompa yang usang. Pemantauan harus mencakup:

- Pemantauan penggunaan.
- Analisis getaran.
- Pemantauan tekanan dan aliran.
- Pemantauan arus atau daya listrik.
- Perbedaan *head* dan kenaikan suhu di pompa (juga dikenal sebagai pemantauan termodinamika)
- Inspeksi sistem distribusi untuk penumpukan kerak atau kontaminan

Salah satu indikator terbaik untuk diikuti untuk pemantauan adalah energi spesifik atau konsumsi daya sebagai fungsi dari laju aliran.

C. Controls

Tujuan dari strategi kontrol apa pun adalah untuk mematikan pompa yang tidak dibutuhkan atau untuk mengurangi beban masing-masing pompa . Kontrol jarak jauh

memungkinkan sistem pemompaan dimulai dan berhenti relatif cepat dan akurat, dan mengurangi tenaga kerja yang diperlukan sehubungan dengan sistem kontrol tradisional.

D. *Reduction of Demand*

Holding tank dapat digunakan untuk menyamakan aliran selama siklus produksi, meningkatkan efisiensi energi dan berpotensi mengurangi kebutuhan untuk menambah kapasitas pompa. Selain itu, memotong *loop* dan aliran yang tidak perlu lainnya harus dihilangkan. Penghematan energi bisa setinggi 5-10% untuk masing-masing langkah ini .

Persyaratan *total head* juga dapat dikurangi dengan menurunkan proses tekanan statis, meminimalkan kenaikan elevasi dari tangki pengisap ke tangki pembuangan, mengurangi perubahan elevasi statis dengan menggunakan sifon dan menurunkan kecepatan *spray nozzle*.

E. *More Efficient Pumps*

Efisiensi pompa dapat menurun 10% hingga 25% dalam masa pakainya. Namun para ahli industri menunjukkan bahwa menurunkan performa pompa tidak harus karena usia pompa tetapi juga dapat disebabkan oleh perubahan dalam proses yang mungkin menyebabkan ketidakcocokan antara kapasitas pompa dan operasinya. Namun demikian, terkadang lebih efisien untuk membeli pompa sesuai dengan kebutuhan, juga karena model yang lebih baru lebih efisien.

Sejumlah pompa tersedia untuk kebutuhan kapasitas *head* dan aliran aliran khusus. Memilih pompa yang tepat sering menghemat biaya operasi dan biaya modal (untuk membeli pompa lain). Untuk tugas yang diberikan, pompa yang berjalan pada kecepatan tertinggi yang sesuai untuk aplikasi umumnya akan menjadi opsi paling efisien dengan biaya awal terendah. Pengecualian termasuk pompa penanganan lumpur, pompa berkecepatan tinggi yang tinggi atau dalam aplikasi di mana pompa memerlukan *net positive suction head* yang sangat rendah di saluran masuk pompa.

Mengganti pompa dengan efisien baru mengurangi penggunaan energi sebesar 2% hingga 10% . Motor efisiensi yang lebih tinggi telah ditunjukkan untuk meningkatkan efisiensi sistem pompa 2% hingga 5% .

F. *Proper Pump Sizing*

Pompa mungkin salah ukuran untuk kebutuhan saat ini jika beroperasi di bawah kondisi saat sedang bekerja, memiliki laju alir *bypass* yang tinggi, atau memiliki laju aliran yang bervariasi

lebih dari 30% dari laju aliran titik efisiensi terbaiknya. Beban puncak dapat dikurangi, ukuran pompa juga dapat dikurangi. Namun, motor yang lebih kecil tidak selalu menghasilkan penghematan energi, karena ini tergantung pada beban motor.

Ketika pompa berukuran terlalu besar, kecepatan dapat dikurangi dengan gigi atau *drive belt* atau dengan motor kecepatan lebih lambat. Praktek ini, bagaimanapun, tidak umum. Pengembalian untuk menerapkan solusi ini kurang dari satu tahun. Pompa dengan ukuran terlalu besar menghasilkan tekanan berlebih adalah kandidat yang sangat baik untuk penggantian *impeller* atau untuk menghemat energi dan mengurangi biaya.

G. *Multiple Pumps for Varying Loads*

Penggunaan beberapa pompa seringkali merupakan solusi yang paling hemat biaya dan paling hemat energi untuk berbagai beban. Atau, penggerak kecepatan yang dapat disesuaikan dapat dipertimbangkan untuk sistem dinamis. Pompa paralel menawarkan redundansi dan peningkatan keandalan.

Instalasi sistem paralel untuk beban sangat bervariasi rata-rata akan menghemat 10% hingga 50% dari konsumsi listrik untuk memompa untuk industri di Amerika Serikat.

H. *Impeller Trimming (or Shaving Sheaves)*

Trimming mengurangi kecepatan ujung *impeller*, yang pada gilirannya mengurangi jumlah energi yang diberikan ke cairan yang dipompa; akibatnya, laju alir pompa dan tekanan keduanya menurun. Sebuah *impeller* yang lebih kecil atau dipangkas dapat digunakan secara efisien dalam aplikasi di mana *impeller* saat ini menghasilkan panas yang berlebihan . Dalam industri pengolahan makanan, kertas dan petrokimia, *trimming impeller* atau menurunkan rasio roda gigi diperkirakan menghemat sebanyak 75% dari konsumsi listrik untuk aplikasi pompa tertentu.

I. *Adjustable Speed Drives (ASD)*

ASD lebih baik mencocokkan kecepatan untuk memuat persyaratan untuk pompa. Untuk motor, penggunaan energi pompa kira-kira sebanding dengan *flow rate* dan pengurangan aliran yang relatif kecil dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan. Instalasi baru dapat menghasilkan periode pengembalian yang singkat.

Selain itu, pemasangan ASD meningkatkan produktivitas, kontrol dan kualitas produk secara keseluruhan, dan mengurangi keausan pada peralatan, sehingga mengurangi biaya pemeliharaan di masa depan.

Mirip dengan mampu menyesuaikan beban dalam sistem motor, termasuk fitur modulasi dengan pompa diperkirakan menghemat antara 20% dan 50% dari konsumsi energi pompa, pada periode pengembalian yang relatif singkat, tergantung pada aplikasi, ukuran pompa, beban dan variasi beban.

J. *Avoiding Throttling Valves*

Variable Speed Drives atau sistem yang diatur secara on-off selalu menghemat energi dibandingkan dengan *throttling valves*. Penggunaan katup ini karenanya harus dihindari. Penggunaan *throttling valves* yang ekstensif atau *loop* pengabaian dapat menjadi indikasi pompa yang kebesaran.

K. *Proper Pipe Sizing*

Energi dapat dihemat dengan mengurangi kerugian karena gesekan melalui optimalisasi diameter pipa. Daya gesekan yang diperlukan tergantung pada aliran, ukuran pipa (diameter), panjang pipa keseluruhan, karakteristik pipa (kekasaran permukaan, material, dll.), dan sifat-sifat fluida yang dipompa.

L. *Replacement of Belt Drives*

Sebagian besar pompa digerakkan secara langsung. Namun, beberapa pompa menggunakan standar *v-belt* yang cenderung meregang, tergelincir, bengkok, dan tertekan, yang menyebabkan hilangnya efisiensi. Mengganti sabuk V standar dengan sabuk penggerak dapat menghemat energi dan uang, bahkan sebagai retrofit.

Lebih baik untuk mengganti pompa dengan sistem *direct driven*, yang menghasilkan peningkatan penghematan hingga 8% dari penggunaan energi sistem pemompaan dengan *payback period* selama 6 bulan.

M. *Precision Castings, Surface Coatings or Polishing*

Penggunaan *casting*, *coating* atau *polishing* mengurangi kekasaran permukaan yang pada akhirnya, meningkatkan efisiensi energi. Ini juga dapat membantu menjaga efisiensi kerja pompa dari waktu ke waktu. Pengukuran ini lebih efektif untuk pompa yang lebih kecil.

N. *Improvement of Sealing*

Kegagalan pada *seal* menyumbang hingga 70% dari kegagalan pompa di banyak aplikasi. Pengaturan *sealing* pada pompa akan berkontribusi pada daya yang diserap. Seringkali penggunaan *gas barrier seal*, *balanced seal*, dan *no-contacting labyrinth seal* dapat membantu mengoptimalkan efisiensi pompa.

2.7 Kesimpulan

Menurut Raharjo (2013), penerapan audit energi pada motor pompa dapat dilakukan dengan memasang *frequency inverter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan *frequency inverter* dapat menghemat energi listrik yang dihasilkan oleh motor listrik pada pompa sebesar 26.84% selama masa giling.

Menurut Hendri (2014), penerapan audit energi dapat dilakukan dengan mengurangi tekanan keluaran, menghilangkan atau mengurangi kebocoran udara tekan, penggantian motor listrik efisiensi tinggi, penggunaan *multi stage compressor*, penggunaan *variable inlet volume* dan penggunaan VSD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi penghematan energi pada kompresor dapat menurunkan biaya pengeluaran sebesar Rp 310.982.500,- / tahun dan dapat menurunkan konsumsi energi listrik sebesar 163.675 kWh / tahun.