

ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN ENERGI KOMPRESOR DAN PENURUNAN EMISI: Studi Kasus di PT. MEI

Hendri

Program Studi Teknik Industri, Universitas Mercu Buana Jakarta

Email: E-mail: hendri@mercubuana.ac.id

Abstrak

Krisis pasokan energi saat ini merupakan isu strategis dan oleh karena itu perlu dianalisis untuk peluang penghematan energi. Thermal Power Station dengan kapasitas 2 unit x 60 MW di PT.MEI menggunakan Compressor untuk mengoperasikan produksinya. Metode analisis peluang penghematan energi kompresor adalah dengan metode observasi, pengukuran, data dan analisis menggunakan perangkat lunak yang dirilis oleh SEAI (Sustainability Energy Authority of Ireland). Hasil penelitian, diketahui bahwa peluang untuk menghemat energi listrik adalah 703.644 kWh / tahun atau Rp 422.186.296 / tahun dan penurunan emisi sebesar 579 CO₂ (Ton).

Kata kunci: *energi, compressor, produksi, energy panas.*

Abstract

The current energy supply crisis is a strategic issue and therefore needs to be analyzed for Energy saving opportunities. Thermal Power Station with a capacity of 2 units x 60 MW at PT.MEI uses Compressor to operate its production. The method of analysis of energy saving compressor opportunity is by observation method, measurement, data and analysis using software tools which released by SEAI (Sustainability Energy Authority of Ireland). Result of research, it is known that the opportunity to save electricity energy is 703.644 kWh/year or Rp 422.186.296/ year and the decrease of emission of 579 CO₂ (Ton).

Keywords: *Energy, Compressor, Production, Thermal Power.*

1 Pendahuluan

Krisis ketersediaan energi saat ini menjadi isu strategis dalam pembangunan nasional. Hal ini adalah efek dari kenaikan harga bahan baku energi dan ditambah dengan semakin menipisnya cadangan bahan baku energi.

Pertumbuhan pemakaian energi sebagai akibat dari meningkatnya jumlah penduduk, industrialisasi, transportasi dan kesejahteraan rakyat, menyebabkan tidak seimbangnya antara demand dan suplai energi. Sumber energi utama seperti BBM, Batu Bara dan Gas semakin lama semakin menipis, sementara pemanfaatan energi alternatif belum begitu signifikan.

Menurut BPPT dalam Out Look 2017, kebutuhan energi final sektor industri diperkirakan tetap dominan dalam jangka panjang. Sebagai Negara berkembang, Indonesia akan mengarah menjadi Negara maju yang diindikasikan dengan dominasi sektor industri dalam menunjang perekonomiannya. Pangsa kebutuhan energi final sektor industri meningkat dari 29% pada tahun 2015 menjadi 43% (skenario dasar) 44% (scenario tinggi) pada tahun 2050. Namun sektor transportasi sebagai penunjang pergerakan perekonomian nasional diproyeksikan mengalami pertumbuhan kebutuhan energi final sedikit lebih tinggi dari sektor industri, yaitu 4,7% per tahun untuk skenario dasar dan 5,6% per tahun untuk skenario tinggi. Kondisi ini membutuhkan energi 5 kali lipat (skenario dasar) dan 7 kali lipat (skenario tinggi) lebih banyak terhadap tahun dasar 2015. Dengan meningkatnya perekonomian dan penduduk diproyeksikan penggunaan energi final di sektor rumah tangga, sektor komersial, dan sektor lainnya (pertanian, konstruksi dan pertambangan) akan terus bertambah. Peranan sektor komersial terhadap total kebutuhan energi final

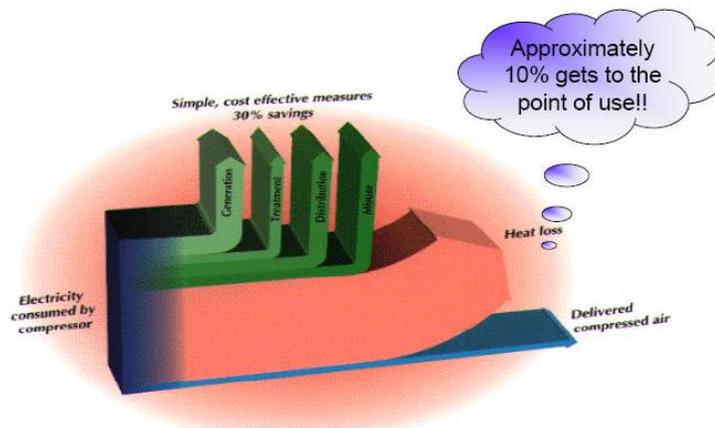
diperkirakan akan meningkat dari 3,6% pada tahun 2015 menjadi menjadi 6,3% (skenario dasar) dan 6,4% (skenario tinggi) pada tahun 2050. Tingginya peningkatan kebutuhan energi final perlu diantisipasi dengan menerapkan upaya konservasi energi di sisi hulu yang didukung dengan penetapan kebijakan yang tepat dan dapat dilaksanakan.

Energi untuk penggerak peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berkapasitas 2 unit x 60 MW di PT.MEI menggunakan Kompresor (udara tekan) untuk mengoperasikan produksinya.

Adapun tujuan penelitian adalah untuk mengetahui peluang penghematan Energi pada Kompresor di PT.MEI

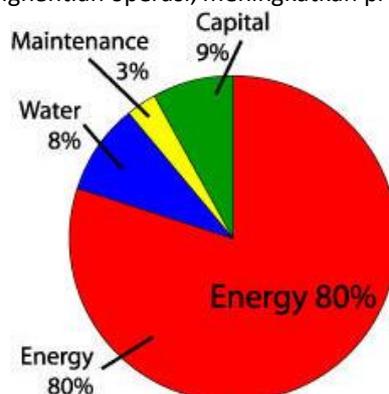
2 Kajian Teori

Diperkirakan 70 sampai 90 persen udara tekan hilang Energi dalam bentuk panas yang tidak dapat digunakan karena gesekan, salah penggunaan dan kebisingan ((McKane and Medaris, 2003). Sehingga, kompresor dan sistim udara tekan menjadi area penting untuk meningkatkan efisiensi energi pada plant industri.



Gambar 1. Diagram Shanky untuk Sistem Udara Tekan (McKane and Medaris, 2003)

Merupakan catatan yang berharga bahwa biaya untuk menjalankan sistem udara tekan jauh lebih tinggi daripada harga kompresor itu sendiri (lihat Gambar). Penghematan energi dari perbaikan sistem dapat berkisar dari 20 sampai 50 persen atau lebih dari pemakaian listrik, menghasilkan ribuan bahkan ratusan ribu dolar. Sistem udara tekan yang dikelola dengan benar dapat menghemat energi, mengurangi perawatan, menurunkan waktu penghentian operasi, meningkatkan produksi, dan meningkatkan kualitas.



Gambar 2. Komponen biaya dalam sistem udara tekan (eCompressedAir)

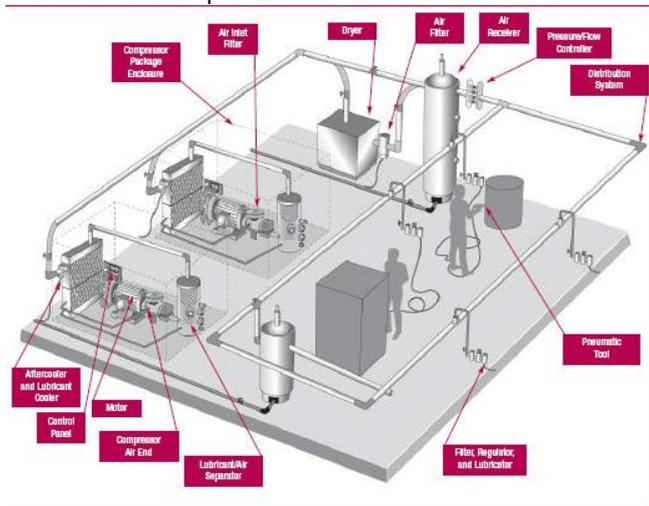
Sistem udara tekan terdiri dari bagian pemasokan, yang terdiri dari kompresor dan perlakuan udara, dan bagian permintaan, yang terdiri dari sistem distribusi & penyimpanan dan peralatan pemakai akhir. Bagian pemasokan yang dikelola dengan benar akan menghasilkan udara bersih, kering, stabil yang dikirimkan

pada tekanan yang dibutuhkan dengan biaya yang efektif. Bagian permintaan yang dikelola dengan benar akan meminimalkan udara terbuang dan penggunaan udara tekan untuk penerapan yang tepat. Perbaikan dan pencapaian puncak kinerja sistim udara tekan memerlukan bagian sistim pemasokan dan permintaan dan interaksi diantara keduanya.

A. Komponen Utama Sistim Udara Tekan

Sistim udara tekan terdiri dari komponen utama berikut: Penyaring udara masuk, pendingin antar tahap, *after-coolers*, pengering udara, *traps* pengeluaran kadar air, penerima, jaringan pemipaan, penyaring, pengatur dan pelumasan.

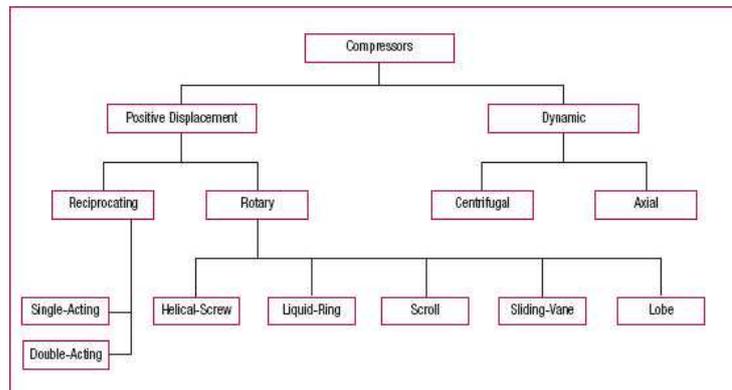
- ☛ **Filter Udara Masuk:** Mencegah debu masuk kompresor; Debu menyebabkan lengketnya katup/ kran, merusak silinder dan pemakaian yang berlebihan.
- ☛ **Pendingin antar tahap:** Menurunkan suhu udara sebelum masuk ke tahap berikutnya untuk mengurangi kerja kompresi dan meningkatkan efisiensi. Biasanya digunakan pendingin air.
- ☛ **After-Coolers:** Tujuannya adalah membuang kadar air dalam udara dengan penurunan suhu dalam penukar panas berpendingin air.
- ☛ **Pengering Udara:** Sisa-sisa kadar air setelah *after-cooler* dihilangkan dengan menggunakan pengering udara, karena udara tekan untuk keperluan instrumen dan peralatan pneumatic harus bebas dari kadar air. Kadar air dihilangkan dengan menggunakan adsorben seperti gel silika/ karbon aktif, atau pengering refrigeran, atau panas dari pengering kompresor itu sendiri.
- ☛ **Traps Pengeluaran Kadar Air:** *Trap* pengeluaran kadar air digunakan untuk membuang kadar air dalam udara tekan. *Trap* tersebut menyerupai *steam traps*. Berbagai jenis *trap* yang digunakan adalah kran pengeluaran manual, klep pengeluaran otomatis atau yang berdasarkan waktu dll.
- ☛ **Penerima:** Penerima udara disediakan sebagai penyimpanan dan penghalus denyut keluaran udara – mengurangi variasi tekanan dari kompresor.



Gambar 3. Jenis Komponen Kompresor (US DOE, 2003)

B. Jenis Kompresor

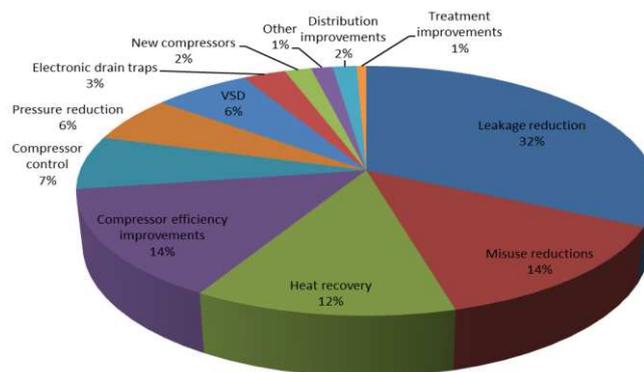
Seperti terlihat pada Gambar berikut ini, terdapat dua jenis dasar : positive-displacement and dinamik. Pada jenis positive-displacement, sejumlah udara atau gas di- trap dalam ruang kompresi dan volumenya secara mekanik menurun, menyebabkan peningkatan tekanan tertentu kemudian dialirkan keluar. Pada kecepatan konstan, aliran udara tetap konstan dengan variasi pada tekanan pengeluaran. Kompresor dinamik memberikan energi kecepatan untuk aliran udara atau gas yang kontinyu menggunakan impeller yang berputar pada kecepatan yang sangat tinggi. Energi kecepatan berubah menjadi energi tekanan karena pengaruh impeller dan volute pengeluaran atau diffusers. Pada kompresor jenis dinamik sentrifugal, bentuk dari sudu-sudu impeller menentukan hubungan antara aliran udara dan tekanan (atau head) yang dibangkitkan.



Gambar 4. Jenis Kompresor (US DOE, 2003)

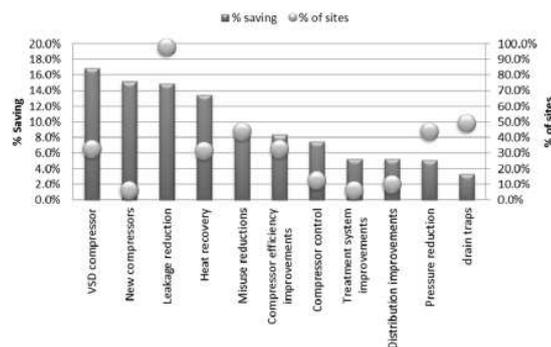
C. Peluang Penghematan energi pada Kompresor

Hampir dari 75 % persen biaya hidup dari suatu sistem Kompresor udara bertekanan adalah energi, dengan biaya pemeliharaan sekitar 10 persen dan biaya investasi awal hanya 15 persen saja. Dengan demikian sudah seharusnya perhatian lebih ditujukan kepada biaya energinya. Beberapa peluang penghematan energi pada sistem kompresor ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peluang Penghematan pada Kompresor udara

Dari gambar diatas tampak bahwa peluang terbesar untuk penghematan energi pada Kompresor udara adalah pada sisi Pengurangan Kebocoran sebesar 32 %, kedua adalah penggunaan udara bertekanan secara tidak tepat dan perbaikan efisiensi Kompresor sebesar 14 % , berikutnya adalah pemanfaatan panas buang sebesar 12 %. Jika kita lihat pada grafik dibawah ini, peluang penghematan terbesar pada sisi perbaikan kebocoran terdapat pada hampir 100 persen lokasi. Sedangkan Untuk pengantian dengan Kompresor baru meskipun bisa memberikan penghematan sebesar 15 % tetapi hanya ekonomis diberlakukan disekitar 6 % lokasi, demikian juga dengan penggunaan VSD, meskipun bisa memberikan keuntungan penghematan energi hingga 16 % lebih, tetapi pada kasus praktis hanya ekonomis diberlakukan di 30 % lokasi.



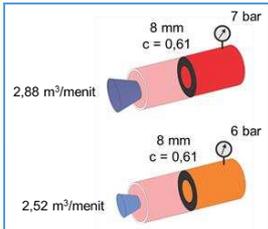
Rugi-rugi energi karena kebocoran.

Kebocoran pada sistem udara bertekanan sangat umum terjadi, pada kondisi yang dianggap normal saja angka kebocoran bisa mencapai 10 persen. 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. Tabel dibawah ini bisa dijadikan sebagai petunjuk untuk menaksir kerugian dalam kW permenit.

Tabel 1. Perkiraan Kerugian Akibat Kebocoran

Diameter Lubang	Konsumsi udara pada 6 barG (m ³ /min)	Kerugian 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



Bagian-bagian yang umum terjadinya kebocoran adalah diantaranya sebagai berikut:

- *Filter, Regulator, Lubricator*
- *Manual Drain Valves*
- *Quick Disconnect (QD) fittings*
- *Hose Clamps*
- *Push-on Hose Fittings*
- *Pipe fittings*
- *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*

Beberapa peluang untuk menghemat konsumsi energi pada Kompresor udara diantaranya adalah; 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. Analisa dan perhitungan dari beberapa pilihan diatas dilakukan menggunakan software dari SEAI.

3 Metoda

Dalam penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data dengan:

- a. Studi Kepustakaan
Yaitu suatu penelitian yang dilakukan dengan mempelajari literatur-literatur, seperti buku, jurnal, bahan hasil audit energi, modul pelatihan, internet dan informasi lain.
- b. Studi Lapangan (Observasi)
Melalui riset lapangan ini, dilakukan wawancara dilapangan tempat penelitian, kepada pihak yang memiliki wewenang dalam pelaksanaan dan pengambilan keputusan di PT. MEI.



Gambar 6. Observasi di PT. MEI

Adapun tahapan metode penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Tahapan Metodologi Penelitian

A. Pengumpulan Data Sekunder

Melakukan pengumpulan data sekunder yang diperlukan baik melalui kuesioner maupun wawancara.

B. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara melakukan pengecekan langsung, pengukuran. Pengukuran dilakukan secara rinci dilakukan pada lokasi-lokasi yang diperkirakan memiliki peluang penghematan yang besar, sehingga dapat diketahui secara lebih rinci besarnya peluangnya dan untuk melakukan klarifikasi terhadap data sekunder yang telah diperoleh.

C. Analisa Sistem Kompresor Udara

Berdasarkan data sekunder yang berhasil dikumpulkan, akan dilakukan tinjauan dan verifikasi data. Hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh memiliki validitas. Data yang dikumpulkan akan dimasukkan ke dalam *software*.

Sistem Kompresi Udara di analisa menggunakan alat bantu yang dirilis oleh SEAI (*Sustainability Energy Authority of Ireland*). Beberapa pilihan analisa penghematan yang disediakan oleh *software* ini diantaranya adalah *Reduce Pressure*, *Repairs Leaks*, *VSD*, *Variable Inlet Volume*, dan *Energy Efficiency Motor*.

4 Hasil dan Pembahasan

Biaya energi kompresor dihitung dengan beberapa asumsi, yaitu:

- Perhitungan hanya mempertimbangkan kompresor yang terpasang di Ruang Kompresor utama yang melayani instrument air dan ruang compressor untuk melayani kebutuhan fly ash.
- Di setiap ruang kompresor hanya terdapat dua buah kompresor yang beroperasi
- Kompresor udara bekerja selama setahun penuh atau 8.760 jam
- Biaya pokok listrik yang dibangkitkan Rp 600 per kWh.

Berdasarkan hasil pengamatan, pengukuran, data dan analisis beberapa peluang untuk menghemat energi di sistem kompresor dijelaskan sebagai berikut:

1) Lakukan optimasi pada sistem udara bertekanan

Dari kunjungan lapangan terdapat beberapa indikasi yang menunjukkan kompresor sistem belum bekerja secara optimal:

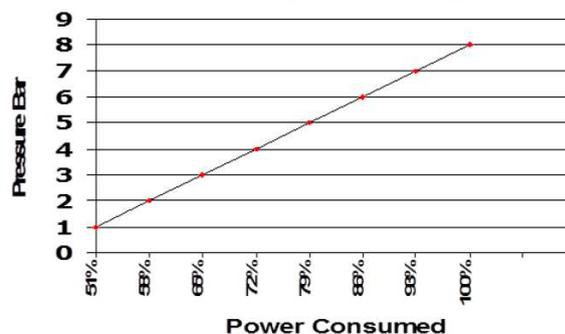
- Unloading time yang tinggi; sebagai contoh pada ruang compressor utama (main compressor room) dua kompresor yang sedang beroperasi dioperasikan dengan model load-unload, dan salah satu compressor memiliki unloading time 41,88 detik dengan loading time 21 detik.
- Operating pressure dari kompresor di ruang utama berkisar di 8.1 bar.
- Jumlah kapasitas compressor yang beroperasi setengah dari kapasitas terpasang dari compressor.
- Terdapat keluhan kualitas udara di sisi pengguna yaitu adanya kandungan air pada udara kompresi.

Peralatan tersebut digunakan untuk mengukur di sub sistem berikut ini:

- Air Generation System; dengan mengukur daya listrik yang dikonsumsi oleh kompresor selama periode waktu tertentu (minimal 24 jam) dengan menggunakan power logger.
- Mengukur FAD (Free Air Delivery) dari setiap compressor dengan menggunakan air flow meter dilengkapi dengan data logger.
- Mengukur tekanan udara operasi disisi distribusi dan di end users.
- Memeriksa suhu dari udara kompresi, dan suhu udara/air pendingin pada sisi inlet dan outlet.
- Mengukur kebocoran di compressor house dan jaringan distribusi menggunakan ultrasonic leak detector.
- Mengukur demand flow dari sistem menggunakan air flow meter.
- Mengukur kandungan partikel pada udara bertekanan menggunakan particle counter.
- Mengukur kadar air pada udara bertekanan menggunakan dew point pressure.

2) Turunkan setting tekanan dari 8.1 bar ke 7.3 bar

Tekanan udara yang dihasilkan oleh kompresor di Merak Energi berkisar di 8.1 bar. Sedangkan peralatan instrument umumnya hanya membutuhkan tekanan berkisar antara 5 – 6.5 bar. Oleh karena itu tekanan yang dihasilkan oleh compressor bisa dikurangi. Tekanan bisa diturunkan secara bertahap. Sebagai acuan best practice, setiap pengurangan tekanan sebanyak 1 bar akan berdampak pada berkurangnya konsumsi energy sebesar 7 persen. Gambar berikut ini menunjukkan hubungan antara tekanan dan penghematan energi.



Gambar 8. Hubungan antara tekanan dan penghematan energi

Jika terdapat peralatan atau proses yang membutuhkan tekanan tinggi, bisa juga digunakan Booster Compressor berukuran kecil. Beberapa Bosster bisa dipasang untuk menaikkan tekanan dari 70–120 Psig (4.8–8.27 bar) Ini adalah suatu praktek yang bagus karena akan membuat tekanan pada system distribusi dibuat rendah. Praktek ini akan menghemat energi antara 6-7% dari beban maksimum dan setiap penurunan 1 bar tekanan operasi akan mengurangi kebutuhan udara semu (artificial demand) sekitar 15%.

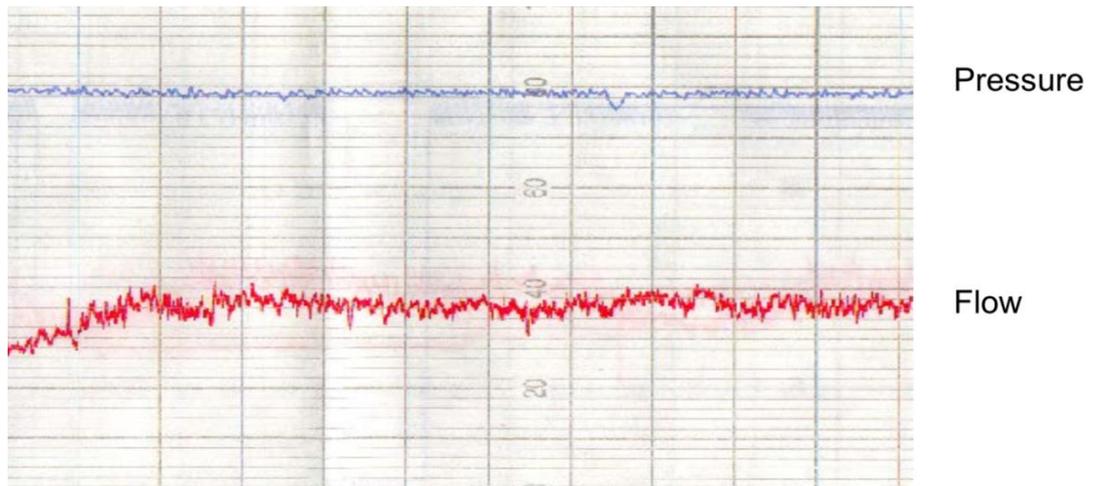
Tabel 2. Estimasi energi saving dari menurunkan tekanan operasi

Parameter	Your Data	Unit	Comment
Motor Power	480,00	[kW]	Sum of all compressor, cooling fan and dryer motor ratings
Motor Efficiency	90%	[%]	Weighted average combined motor efficiency (default = 90%)
% Full Load	100%	[%]	Estimate of average percentage motor load factor (default = 65%)
Annual Operation Hours	8.760	[h/y]	24h/7d = 8,760 hours; 24h/5d = 6,240 hours; 8h/5d = 2,080 hours.
Pressure Reduction	0,80	[bar]	Average reduction in discharge pressure set-point
Annual Energy Consumption	4.672.000	[kWh/y]	= (Motor Power [kW]) / (Motor Efficiency [%]) x (% Full Load [%]) x (Operation Hours [h])
% Savings	5,2%	[%]	= (Pressure Reduction [bar]) x (6 - 7% saving per bar)
Annual Energy Savings	242.944	[kWh/y]	= (Annual Energy Consumption [kWh]) x (% Savings [%])
Average Electricity Price	Rp 600,	[Rp/kWh]	Insert from Energy Bills Analysis Tool
Annual Cost Savings	145.766.400	[Rp/y]	= (Annual Energy Savings [kWh/y]) x (Average Electricity Price [Rp/kWh])

Perhitungan hanya dilakukan untuk kedua ruang compressor yaitu ruang kompresor utama dan ruang kompresor fly ash, dengan asumsi jumlah kompresor yang beroperasi dimasing-masing ruang kompresor adalah 2 buah dengan jam operasi 8.760 jam pertahun. Penghematan yang diperoleh sebesar 242.944 kWh pertahun, dengan asumsi harga listrik yang diproduksi Merak Energi adalah Rp.600/kWh, maka uang yang bisa dihemat adalah sebesar Rp. 145.766.400 pertahun atau sekitar 5,2 persen.

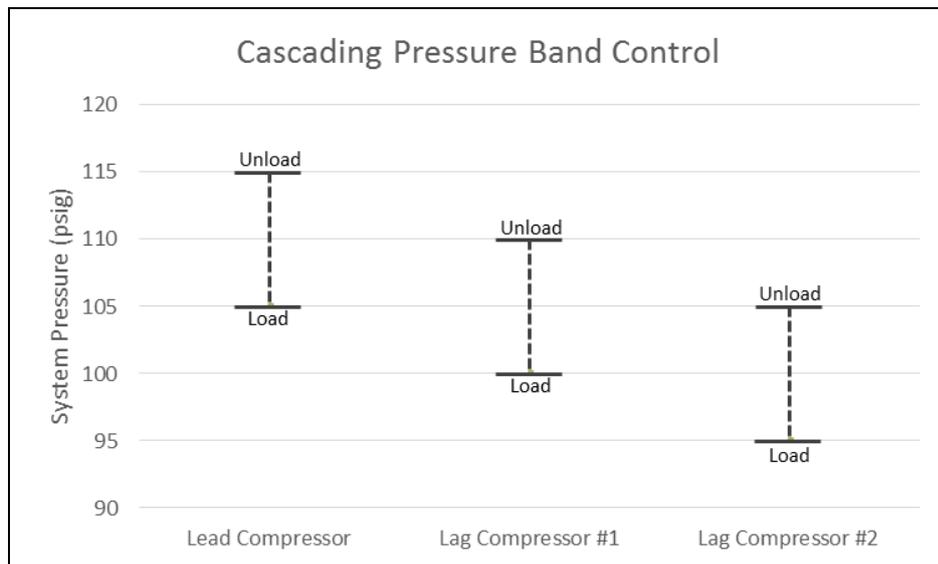
3) Instalasi VSD pada salah satu kompresor di ruang kompresor

Pada saat ini semua kompresor beroperasi secara loading dan unloading. Kondisi tersebut tidak efisien karena kompresor pada saat unloading membutuhkan daya listrik sekitar 40 persen dari daya nominalnya, meskipun tidak ada udara bertekanan yang dihasilkannya. Dilain pihak kita tahu bahwa kebutuhan udara bertekanan selalu fluktuatif seperti ditampilkan pada gambar berikut ini:

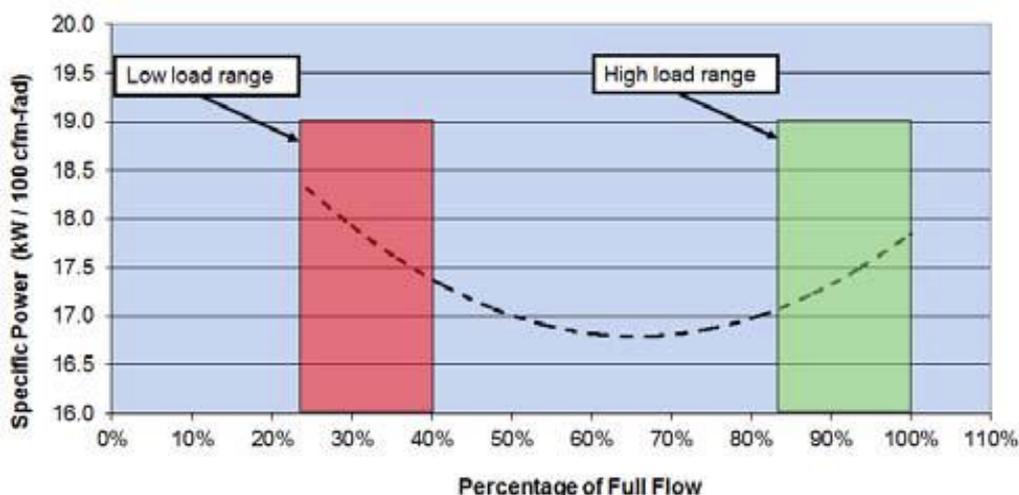


Gambar 9. Fluktuasi kebutuhan udara bertekanan

Untuk mengatasi pola kebutuhan udara kompresi yang berfluktuatif, maka satu atau beberapa kompresor pada sistem multi kompresor akan berlaku sebagai Trimming Compressor, yaitu kompresor yang memproduksi udara secara fluktuatif dengan cara beroperasi dengan pola loading-unloading. Jika pada ruang compressor diimplementasikan suatu sistem control maka idealnya hanya satu buah kompresor yang berlaku sebagai Trimming Compressor, misalnya yang paling sederhana adalah dengan metode Pressure Band Control, dimana kompresor disetting dengan Pressure setting yang berbeda-beda seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Cascading pressure setting



Gambar 11. Pengaturan beban kompresor

Dengan metode ini, maka hanya satu kompresor yang beroperasi loading dan unloading sedangkan sisanya beroperasi full loading. Yang paling efisien adalah jika yang bertindak sebagai Trimming Kompresor adalah VSD Kompresor, karena VSD kompresor paling efisien beroperasi pada beban antara 40 hingga 85% dari beban penuh. Simulasi untuk menghitung penghematan energi dari pemasangan VSD dilakukan dengan excel sheet dengan asumsi dua buah kompresor dipasang VSD yaitu satu buah kompresor berukuran 150 kW di ruang kompresor utama dan satu buah kompresor berukuran 90 kW di ruang kompresor untuk fly ash. Penggunaan VSD pada Screw kompresor peluang untuk menghemat energi hingga 24%.

Tabel.3. Simulasi kalkulasi saving dari pemasangan VSD

Parameter	Your Data	Unit	Comment
Motor Power	240,00	[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	70%	[%]	Average compressor loading expressed as a percentage of the rated capacity (l/s or CFM)
Annual Operation Hours	8.760	[h/y]	24h/7d = 8,760 hours; 24h/5d = 6,240 hours; 8h/5d = 2,080 hours.
Average Power Saving	52,59	[kW]	= (Motor Power [kW]) / (Motor Efficiency [%]) x 70% x (100% - Average Part Load Condition [%]) x VSD Efficiency [%]
Annual Energy Savings	460.700	[kWh/y]	= (Average Power Saving [kW]) x (Annual Operating Hours [h/y])
Average Electricity Price	Rp 600,	[Rp/kWh]	Insert from Energy Bills Analysis Tool
Annual Cost Savings	276.419.896	[Rp]	= (Annual Energy Savings [kWh/y]) x (Average Electricity Price [Rp/kWh])

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peluang penghematan bisa mencapai sekitar 460.700 kWh pertahun atau setara dengan uang sebesar Rp. 276.419.896 pertahun.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan, pengukuran, data dan analisa, maka dapat diidentifikasi peluang penghematan yang dapat dilakukan pada sistem kompressor, yaitu:

1. Lakukan optimasi pada sistem udara bertekanan
2. Turunkan setting tekanan dari 8.1 bar ke 7.3 bar
3. Instalasi VSD pada salah satu kompresor di ruang kompresor

Adapun ringkasan peluang penghematan dari hasil analisis adalah sebagai berikut:

No.	Item Penghematan Energi	POTENSI PENGHEMATAN		
		Listrik	Biaya	Emisi
		kWh/Tahun	Rp	CO ₂ (Ton)
1	Pengurangan Tekanan pada kompresor Udara	242.944	145.766.400	200
5	Pemasangan Variable Speed Drive (VSD)	460.700	276.419.896	379
TOTAL	Potensi Penghematan Energi (kWh/Tahun)	703.644		
	Potensi Penghematan Biaya (Rp)/Tahun		422.186.296	
	Potensi Penurunan Emisi CO₂(Ton) /Tahun			579

Dari hasil penelitian ini diketahui peluang penghematan biaya energi listrik sebesar 703.644 kWh/Tahun (Rp 422.186.296 per tahun) dan penurunan emisi 579 CO₂(Ton).

Langkah yang dapat dilakukan dalam rangka melakukan penghematan energi adalah melakukan optimasi pada sistem udara bertekanan, menurunkan setting tekanan dari 8.1 bar ke 7.3 bar, dan instalasi VSD pada salah satu kompresor di ruang kompresor.

Referensi

- BPPT, 2017. Indonesia Energy Outlook.
- ECompressedAir. *Compressed Air Audits*. <http://ecompressedair.com/air.shtml> <http://superiorsignal.com/usndacr.pdf>
- Hendri . 2017. Penghematan Energi pada Kompresor di PT.ABC , Jurnal PASTI Vol IX, No 1 Teknik Industri, Universitas Mercu Buana Jakarta.
- Hutapea, Maritje, 2013. Energy Efficiency and Conservation Policy in Indonesia, ESDM Republik Indonesia.
- McKane, A. and Medaris, B. 2003.The Compressed Air Challenge – Making a difference for US industry. http://eetd.lbl.gov/ea/indpart/publications/lbnl_52771.pdf
- Peraturan Pemerintah No. 70/2009 Tentang Konservasi Energi Republik Indonesia
- Turner, Wayne C. 2010. *Energy Management Handbook*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Undang-Undang No.30/2007 Tentang Energi Republik Indonesia
- United Nation Environment Program. 2008. *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. Indonesia.
- US Department of Energy (US DOE). 2003. Energy Efficiency and Renewable Energy. Improving Compressed Air System Performance. http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/compressed_air_sourcebook.pdf
- US Department of Energy (US DOE). 2008.Energy Efficiency and Renewable Energy. Improving Motor and Drive System Performance.
- US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. 2004. Industrial Technologies Program. Energy Tips – Compressed Air Tip Sheet 3. www.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/compressed_air.pdf