

STUDI PENGHEMATAN ENERGI LISTRIK PADA PT AJINOMOTO INDONESIA MOJOKERTO FACTORY

Dika Dana Hiswara¹, Ir. Unggul Wibawa, MSc.², Ir. Hari Santoso, MS.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: dikdanhis@gmail.com

Abstrak—Industri merupakan salah satu konsumen energi listrik yang harus diperhatikan penggunaan energi listriknya karena bebannya yang kompleks. Penghematan energi listrik pada PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory pada lingkup pembebanan pada transformator 1500 kVA masih perlu mendapat tindak lanjut, terutama untuk motor listrik yang merupakan pengguna energi listrik paling banyak (motor listrik sebesar 98,60%, AC sebesar 1,24%, dan lampu sebesar 0,14%). Hasil analisis menyatakan bahwa motor, terutama untuk kompresor, rentan mengalami kelebihan temperatur dan getaran yang dapat menyebabkan rugi daya. Pembebanan pada motor listrik cenderung normal, yaitu sebesar 50% - 100%. Pada beban AC, penghematan dapat dilakukan dengan mengganti AC standar menjadi AC berteknologi inverter karena dapat menghemat sebesar 88,3% untuk AC inverter 1 PK, 75,8% untuk AC inverter 1,5 PK, 61,0% untuk AC inverter 2 PK, dan 26,8% untuk AC inverter 2,5 PK. Untuk beban lampu, sebaiknya menggunakan lampu hemat energi dan ballast elektronik karena dapat menghemat energi listrik dan pengeluaran sebesar 69,77% per tahun.

Kata Kunci—Penghematan energi listrik, motor listrik, AC, lampu

Abstract—Industry is one of electrical energy consumer that should be assessed for its energy consumption because of its complex loads. Energy saving opportunity in 1500 kVA transformer in PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory needs further attention, especially for electric motor that consumes most energy (electric motor is for about 98,60%, AC is 1,24%, and lighting is 0,14%). Result of the analysis states that electric motor, which is especially used for compressor, is tend to get overheat and higher vibration level and can cause power loss. Loading in electric motor is normal enough, for about 50%-100%. Energy saving opportunity for AC can be achieved by replacing conventional AC to AC inverter because it can save for about 88,3% for 1PK AC inverter, 75,8% for 1,5PK AC inverter, 61,0% for 2PK AC inverter and 26,8% for 2,5PK AC inverter. For lighting system, it should use energy saving lamp (LVD) and electronic ballast because it can get annual saving for about 69,77%.

Keywords—Energy saving, electric motor, AC, lighting

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Ketersediaan energi menentukan pertumbuhan ekonomi dan perkembangan negara. Penggunaan energi yang bijaksana dan hemat akan mengurangi biaya produksi. Salah satu upaya menuju penghematan pemakaian energi adalah dengan tindakan konservasi energi.

Sektor industri merupakan sektor yang sudah banyak melakukan upaya konservasi. Konservasi energi dapat dicapai melalui penggunaan teknologi hemat energi dalam penyediaan dan menerapkan budaya hemat energi dalam pemanfaatan energi. Hambatan yang dihadapi dalam konservasi energi antara lain: biaya investasi tinggi, budaya hemat energi masih sulit diterapkan, kemampuan sumber daya manusia masih rendah sehingga pengetahuan terhadap teknologi yang efisien masih sangat kurang, dan dukungan dari pemerintah dalam bentuk insentif untuk melakukan upaya konservasi masih kurang.

PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory adalah industri yang bergerak di bidang bumbu masakan, minuman, dan pupuk. Pada sebuah industri, efektifitas dan efisiensi pemakaian energi sangat penting tidak hanya dari sisi perencanaan, namun juga sisi operasionalnya.

Dalam skripsi ini akan dilakukan pemetaan terhadap parameter sistem dan peralatan listrik pada PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory. Penelitian ini juga akan mengidentifikasi pola pembebanan dan menganalisis penyelesaian yang sesuai dari keadaan yang didapatkan selama proses audit energi.

2. Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Mengetahui seberapa efisien kondisi kelistrikan di transformator 1500 kVA PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory.
2. Mengetahui apakah penggunaan beban-beban listrik di transformator 1500 kVA PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto Factory telah memenuhi standar.

- Menentukan potensi yang dapat dilakukan untuk penghematan energi listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Audit Energi

Istilah audit energi dapat memiliki beberapa definisi. Menurut [14], secara sederhana audit energi berarti proses untuk mengevaluasi sebuah bangunan atau industri yang menggunakan energi dan mengidentifikasi kemungkinan untuk mengurangi penggunaannya.

Proses audit dimulai dengan mengumpulkan informasi tentang fasilitas pengoperasian dan catatan penggunaan. Data tersebut dianalisis untuk menggambarkan pola penggunaan energi yang dapat membantu auditor untuk memeriksa area – area yang membutuhkan penurunan biaya energi. Menurut [2], tipe audit terdiri dari *walk-through audits* dan *detailed-diagnostic energy audits*.

Audit pada industri adalah jenis audit yang kompleks dan menarik karena banyaknya variasi peralatan. Peralatan dengan jenis spesifikasi tinggi yang digunakan di proses industri adalah yang membedakan jenis ini dengan bentuk komersial lainnya. Tantangan untuk auditor dan spesialis manajemen energi adalah mempelajari operasi peralatan industri yang rumit dan beragam, serta memberikan rekomendasi perbaikan untuk proses dan peralatannya yang dapat menghemat energi dan uang [15].

B. Transformator

Trafo standar tidak membutuhkan target efisiensi saat proses desain. Penghematan energi dapat diperoleh dengan menggunakan trafo yang efisien dan mengoperasikan trafo secara efisien.

Untuk perhitungan pembebanan transformator digunakan rumus [1] :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \quad (2-1)$$

dimana I_{FL} adalah arus beban penuh (A), S adalah daya semu transformator (kVA) dan V adalah tegangan sisi sekunder transformator (kV).

$$\%_{\text{pembebanan}} = \frac{I_{fund}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (2-2)$$

dimana I_{fund} adalah arus fundamental nominal.

C. Beban Listrik

Daya listrik dalam bentuk kompleks dapat dinyatakan oleh persamaan [18]:

$$S = P + jQ \quad (2-3)$$

Dimana: S = daya semu (VA)
P = daya nyata (watt)
Q = daya reaktif (VAR)

Untuk mencari nilai energi (W), digunakan persamaan [18]:

$$dw = p \times dt \quad (2-4)$$

Dimana: dw = energi listrik (kWh)

p = daya yang digunakan (kW)

dt = waktu (jam)

D. Motor Listrik

Motor listrik digunakan untuk mengkonversi energi elektrik ke energi mekanik [10].

a. Motor DC

Motor DC digunakan pada beberapa aplikasi industri karena kecepatannya mudah diubah – ubah. Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya.

b. Motor AC

Motor AC banyak digunakan dalam beragam aplikasi. Keuntungannya adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya.

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai perbandingan keluaran daya motor yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah usia, kapasitas, kecepatan, jenis, dan suhu [16].

Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Karena sulit untuk mengkaji efisiensi motor pada kondisi operasi yang normal, beban motor dapat diukur sebagai indikator efisiensi motor.

Beberapa motor listrik didesain untuk beroperasi pada 50% hingga 100% beban nominal. Efisiensi maksimum adalah yang mendekati 75% pada beban nominal.

Untuk menghitung beban yang diemban motor dapat dilakukan secara langsung atau dengan menggunakan metode pengukuran daya masuk. Pengukuran secara langsung dilakukan jika memiliki keseluruhan komponen yang digunakan dalam persamaan [16] :

$$\eta = \frac{Load}{P_i} \times 100\% \quad (2-5)$$

Dimana: Load : Daya yang keluar sebagai % daya nominal (kW)

HP : Daya motor pada *nameplate* (HP)
 P_i : Daya masuk tiga fasa (kW)
 η : Efisiensi operasi motor (%)

Namun jika kesulitan dalam mengetahui besar efisiensi secara langsung, maka dapat dilakukan metode pengukuran daya masuk untuk menghitung beban terlebih dahulu. Tahap pertama adalah menentukan daya masuk dengan menggunakan persamaan:

$$P_i = \frac{V \times I \times PF \times \sqrt{3}}{1000} \quad (2-6)$$

Dimana: P_i : Daya tiga fasa (kW)
 V : Nilai tegangan terukur (volt)
 I : Nilai arus terukur (ampere)
 PF : Faktor daya dalam desimal

Lalu menentukan nilai daya masuk dengan mengambil nilai pada *nameplate* dengan menggunakan persamaan:

$$P_r = hp \times \frac{0,746}{\eta_r} \quad (2-7)$$

Dimana: P_r : Daya masuk beban penuh (kW)
 HP : Nilai daya pada *nameplate* (HP)
 η_r : Efisiensi pada beban penuh

Selanjutnya menentukan daya keluar yang dinyatakan dalam %, yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$Load = \frac{P_i}{P_r} \times 100\% \quad (2-8)$$

Dimana: $Load$: Daya keluar yang dinyatakan dalam % nilai daya nominal
 P_i : Daya tiga fasa terukur (kW)
 P_r : Daya masuk beban penuh (kW)

c. Koreksi Faktor Daya

Pada beberapa aplikasi industri, faktor daya yang rendah merupakan hasil dari penggunaan motor induksi. Karakteristik motor induksi adalah faktor dayanyayang kurang dari satu, menyebabkan efisiensi keseluruhan yang lebih rendah. Berdasarkan persamaan 14[14], pada sistem dengan faktor daya rendah dibutuhkan arus yang lebih besar untuk menghasilkan daya yang sama dengan sistem berfaktor daya tinggi.

$$P = V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \quad (2-9)$$

Cara untuk memperbaiki faktor daya adalah melakukan pergantian motor yang memiliki kapasitas terlalu besar dengan kapasitas yang dibutuhkan. Cara kedua adalah mengganti motor desain biasa dengan motor pabrik yang memiliki desain efisien, dan cara ketiga adalah memasang *capacitor bank*.

d. Temperatur dan Getaran

1. Temperatur

Motor yang sedang beroperasi akan menghasilkan panas. Kelonggaran koneksi ialah salah satu bentuk gangguan eksternal yang dapat menyebabkan rugi daya akibat meningkatnya resistansi kontak, dimana jenis resistansi kontak yang dicantumkan pada [4]. Kenaikan temperatur pada kebanyakan rangkaian elektrik diakibatkan oleh disipasi daya dari pemanasan *ohmic*. Rugi daya pada titik koneksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [12]:

$$P = I^2 \cdot R \quad (2-10)$$

Dimana P = daya terdisipasi (W)

I = arus yang melewati titik koneksi (A)

R = resistansi kontak (Ω)

Kenaikan temperatur tidak boleh melampaui batas sistem isolasi yang sudah ditetapkan. Bila temperatur pendingin kurang dari 40° C, maka kapasitas beban motor masih dapat dinaikkan dan sebaliknya bila temperatur pendingin lebih dari 40° C, maka kapasitas beban dari motor harus diturunkan. Standar temperatur motor ada pada IEC 34-1 [6] dan IEC 85 [8].

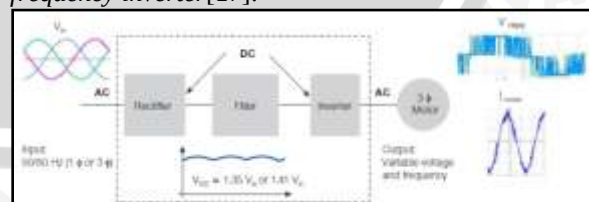
2. Getaran

Pengecekan getaran motor menjadi salah satu prosedur bagian pemeliharaan yang berfungsi untuk menganalisis kondisi mesin dan menghindari gangguan yang tidak diperkirakan. Getaran motor adalah gerakan ke depan dan belakang suatu komponen mesin yang membuat suatu osilasi. Standar getaran motor telah diatur dalam IEC 34 – 14 [7].

Getaran dapat disebabkan oleh ketidakseimbangan akibat temperatur rotor, *coupling*, dan pergerakan mesin [5]. Getaran berlebih pada motor mengakibatkan kerusakan mesin, konsumsi daya yang tinggi untuk menyokong daya yang hilang akibat rugi daya oleh getaran, hasil produksi yang kurang baik karena getaran mengganggu *output* mesin, dan meningkatnya biaya pemeliharaan jika terjadi kerusakan atau penggantian mesin [3].

e. Penggunaan Frequency Inverter

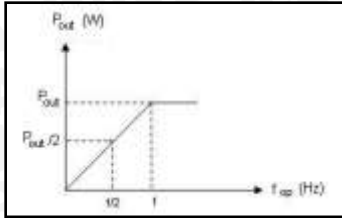
Berikut adalah diagram blok sistem kerja *frequency inverter* [17]:



Gambar 1. Sistem kerja *inverter* untuk motor induksi tiga fasa

Sumber: WEG, 2009 [17]

Gambar di bawah ini adalah grafik perbandingan antara frekuensi dengan P_{out} motor.



Gambar 2. Grafik perbandingan antara frekuensi dan daya keluaran motor yang diberi suplai *inverter*
Sumber: WEG, 2009 [17]

Motor induksi yang diberi suplai PWM dari *inverter* dapat memunculkan harmonisa. Oleh karena itu, level *Total Harmonic Distortion* (THD) untuk tegangan dan arus telah diatur di [9], yaitu sebesar 15%.

E. Beban Penerangan

Lampu pada daerah industri merupakan beban yang tidak terlalu banyak ditemukan, namun juga perlu dilakukan peninjauan. Intensitas penerangan harus ditentukan di tempat pekerjaan yang akan dilakukan. Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan tergantung pada jenis kegiatan yang dilakukan.

Untuk menghitung jumlah lampu yang diperlukan (n) dapat menggunakan persamaan [14]:

$$n = \frac{E \times A}{L_u \times LLF \times C_u} \quad (2-12)$$

Dimana: n = jumlah lampu
E = iluminansi (lux)
A = luas permukaan (m²)
L_u = efisiensi per lampu [13]
C_u = coefficient of utility
LLF = light loss factor
UF = utilization factor

biasanya telah ditentukan sendiri oleh pihak pabrik dengan mengacu pada suatu indeks ruang (k) yang dinyatakan sebagai [16]:

$$k = \frac{\text{panjang} \times \text{lebar}}{\text{tinggi} \times (\text{panjang} + \text{lebar})} \quad (2-13)$$

F. Beban AC

AC pada daerah industri merupakan beban yang tidak terlalu banyak ditemukan, namun juga perlu dilakukan peninjauan. Hal yang menjadi pertanyaan saat memutuskan akan menggunakan *air conditioner* adalah bagaimana cara mengetahui PK AC yang sesuai dengan ruangan. Untuk mengetahui berapa PK yang dibutuhkan dalam suatu ruang, maka dapat ditentukan dengan persamaan ini [13]:

$$PK_{AC} \text{ yang dibutuhkan} = \frac{p \times l \times t}{3} \times 500 \quad (2-14)$$

Keterangan :

PK_{AC} yang dibutuhkan = Daya AC ([BTU/jam]/PK)
p = panjang ruangan (m)
l = lebar ruangan (m)
t = tinggi ruangan (m)

G. Simple Payback Period

Payback period adalah suatu cara untuk menentukan waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi dari penghematan tahunan. Secara sederhana, *payback period* dinyatakan dengan [14]:

$$\text{Simple payback period} = \frac{\text{First cost}}{\text{Savings}} \quad (2-15)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah mempelajari dan memahami konsep tentang konservasi energi listrik, perhitungan, dan teori – teori lain yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini.

B. Pengambilan Data

Data – data yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran, perhitungan, dan pengamatan langsung di lapangan. Pada skripsi ini, data primer adalah data beban terpasang yang terdiri dari data:

- Panel Transformator
- Sistem Penggerak
- Sistem Pencahayaan
- Data Pendingin
- Data konsumsi energi listrik

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang bersumber dari buku referensi, jurnal, dan skripsi yang relevan dengan pembahasan skripsi ataupun yang terdapat pada lapangan (PT Ajinomoto). Adapun data sekunder yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

- Data Konsumsi Energi Listrik
- Data Operasional Harian
- Single Line Diagram
- Data Spesifikasi Peralatan

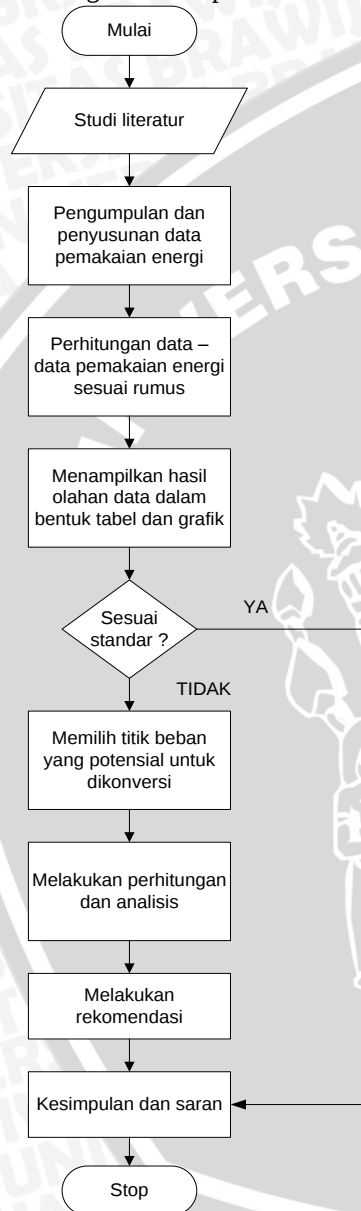
C. Analisis Data dan Pembahasan

Setelah data terkumpul, maka dianalisis sesuai dengan rumus pada teori – teori dan literatur. Selanjutnya data – data tersebut akan digunakan sebagai bahan analisis yang mengacu pada rumusan masalah, meliputi hal – hal sebagai berikut:

- Analisis pola pemakaian energi pada keadaan beroperasi.

2. Analisis mengenai perbandingan kondisi penggunaan energi dengan kondisi standar.
3. Analisis solusi penghematan energi melalui tindakan konservasi energi pada beberapa titik potensial guna memperoleh efisiensi yang lebih baik.

Langkah metode dan proses audit energi ini digambarkan sesuai diagram alir seperti berikut:



Gambar 3. Diagram alir proses audit energi

D. Penutup

Pada bagian penutup ini akan dilakukan pengambilan kesimpulan dari hasil analisis sehingga dapat diketahui pemakaian energi listrik dan mendapatkan upaya penghematan energi dari hasil konservasi energi, serta memberikan rekomendasi.

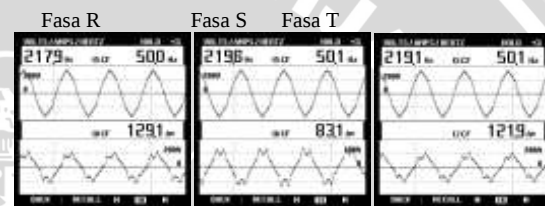
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Kelistrikan pada Transformator 1500 kVA

Konsumsi energi listrik pada transformator 1500 kVA cenderung konstan. Penggunaan motor listrik sangat dominan (98,60%) dibanding lampu (0,14%) dan AC (1,24%) dari total penggunaan energi listrik tahunan sebesar 7255739,24 kW. Oleh karenanya, efisiensi energi listrik akan terasa efeknya apabila melakukan upaya yang lebih untuk motor listrik.

1. Pembebanan pada Transformator 1500 kVA

Dengan menggunakan rumus (2-1), dapat diketahui bahwa arus beban penuh (I_{FL}) sebesar 2279,01 A. Berikut adalah contoh hasil pengukuran pada panel B.



Gambar 4. Hasil pengukuran tegangan dan arus pada panel B

Dengan menggunakan rumus (2-2), didapat bahwa % pembebanan pada panel B untuk fasa R adalah sebesar 5,665%, fasa S adalah sebesar 3,646%, dan fasa T adalah sebesar 5,349%. Dari keseluruhan hasil perhitungan, didapat bahwa persentase pembebanan pada masing – masing panel tidak jauh berbeda, dengan fasa S yang memiliki beban lebih besar daripada fasa R dan fasa T. Persentase pembebanan yang berbeda dan berubah – ubah menunjukkan bahwa terjadi pembebanan yang tidak seimbang pada transformator.

2. Kondisi Koneksi Kabel

Hasil dari sampel pengukuran didapatkan bahwa terdapat beberapa koneksi kabel yang memiliki temperatur melebihi temperatur ruangan, yaitu 30° C. Jika diasumsikan bahwa kabel telah mengalami oksidasi akibat penggunaan selama beberapa tahun dan jenis kabel adalah tembaga (*copper*), maka resistansi kontakannya adalah 400 $\mu\Omega$ ($400 \times 10^{-6}\Omega$). Dengan menggunakan persamaan (2-10), maka untuk arus yang mengalir pada panel B, didapatkan rugi daya pada fasa R sebesar 6,667 W, fasa S sebesar 2,762 W, dan fasa T sebesar 5,944 W.

Dengan cara yang sama, maka didapat hasil perhitungan untuk keseluruhan panel yang menyatakan bahwa adanya rugi daya akibat koneksi yang kurang baik atau koneksi kabel yang longgar yang diindikasikan dengan adanya temperatur koneksi kabel yang melebihi temperatur ruangan.

B. Analisis Pengoperasian Motor Listrik

Motor – motor listrik, yang sebagian besar merupakan motor induksi tiga fasa, itu berjumlah 35 buah. Sistem operasinya menggunakan sistem *sparing*, yaitu tidak semua motor difungsikan secara bersamaan.

1. Temperatur Motor

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat beberapa motor yang memiliki temperatur di atas standar yang ditetapkan oleh PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto *Factory*, berdasarkan *insulation class* yang diasumsikan sebesar 70° C, dan memiliki temperatur rata – rata di atas temperatur *ambient* yang sebesar 40° C.

Sesuai tabel standar IEC 34-1, maka akan dapat dihitung besar persen daya output motor berdasarkan temperatur terukur. Sebagai contoh adalah motor *filter water pump C* yang memiliki $T_{rata-rata}$ sebesar 43,2° C sehingga dapat diambil persen daya output 95% untuk temperatur yang mendekati 43,2° C yaitu 45° C. Maka daya output motor yang diizinkan adalah sebesar:

$$P = \frac{95}{100} \times 30 = 28,5 \text{ W}$$

Dengan cara yang sama, maka didapat hasil perhitungan untuk keseluruhan motor yang menyatakan bahwa adanya rugi daya akibat kenaikan temperatur pada motor. Jika kenaikan temperatur terjadi terus menerus, maka akan merusak isolasi motor, mengurangi umur motor, dan menurunkan daya serta efisiensi yang dihasilkan oleh motor tersebut.

2. Getaran Motor

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat beberapa motor yang memiliki getaran di atas standar yang ditetapkan oleh PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto *Factory*, ISO 2373 atau yang menyerupai IEC 34-14, yaitu sebesar 2,8 mm/s.

Sesuai yang telah tercantum dalam tinjauan pustaka, motor yang memiliki nilai getaran yang besar dapat memberikan rugi – rugi getaran sehingga meningkatkan panas motor dan membutuhkan konsumsi daya yang besar.

3. Perhitungan Beban Motor

Perhitungan menggunakan metode pengukuran daya masuk. Dimisalkan perhitungan untuk data pada motor *Filter Water Pump A* yang memiliki data sebagai berikut:

$I_R = 49,7 \text{ A}$; $I_S = 50,5 \text{ A}$; $I_T = 50,2 \text{ A}$, maka $I_{rata-rata} = 50,1 \text{ A}$

$V_{RS} = 376 \text{ V}$; $V_{RT} = 374 \text{ V}$; $V_{ST} = 376 \text{ V}$, maka $V_{rata-rata} = 375,3 \text{ V}$

$PF = 0,89$

$\eta_r = 0,893$

$P_{nameplate} = 30 \text{ kW}$

Maka dapat dihitung daya masuknya sesuai persamaan (2-6)

$$P_i = \frac{375,3 \times 50,1 \times 0,89 \times \sqrt[3]{3}}{1000} = 29,01 \text{ kW}$$

Kemudian dapat dihitung pula nilai daya masuk berdasarkan data pada *nameplate* sesuai persamaan (2-7):

$$P_r = HP \times \frac{0,746}{\eta_r} = \frac{30}{0,893} = 33,595 \text{ kW}$$

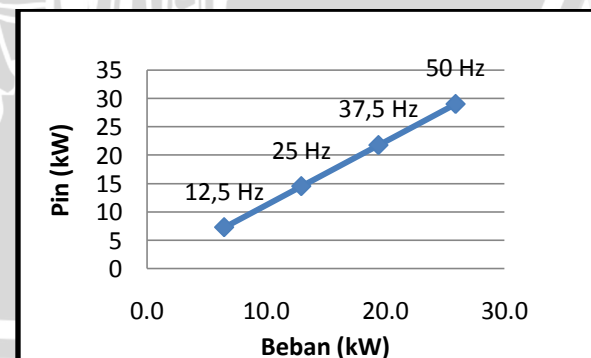
Selanjutnya dihitung beban yang diemban oleh motor sesuai persamaan (2-8):

$$Load = \frac{P_i}{P_r} \times 100\% = \frac{29,01}{33,595} \times 100\% = 86,4 \%$$

Maka besar beban yang sebenarnya adalah $86,4\% \times 30 \text{ kW} = 25,9 \text{ kW}$.

Dengan cara yang sama, maka didapat hasil perhitungan untuk keseluruhan motor yang menyatakan bahwa motor dibebani pada kondisi bervariasi. Terdapat motor yang dibebani di atas 50%, namun terdapat pula motor yang hanya dibebani di bawah 50%. Ada pengaruh dari penggunaan *inverter*, yaitu motor hanya dibebani sesuai kebutuhan sehingga dapat menghemat penggunaan energi listrik.

Jika dimisalkan untuk motor *Filter Water Pump A* yang tidak menggunakan *inverter* diberi suplai PWM dengan *inverter*. Berdasarkan gambar 2 yang menyatakan bahwa frekuensi kerja berbanding lurus dengan daya keluaran, maka dapat dihitung konsumsi energi listrik untuk frekuensi kerja yang berbeda – beda dan menghasilkan grafik sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik beban terhadap P_{in} untuk frekuensi berbeda

Grafik di atas menyatakan bahwa semakin besar frekuensi kerja yang dihasilkan untuk beban yang makin besar pula, maka makin besar konsumsi energi listrik (P_{in}) yang dibutuhkan.

C. Analisis Penggunaan AC

Untuk menentukan besar PK AC yang dibutuhkan dalam satu ruangan dapat menggunakan persamaan (2-14):

$$PK_{AC} \text{ yang dibutuhkan} = \frac{P \times l \times t}{3} \times 500$$

$$= \frac{7,5 \times 6 \times 5}{3} \times 500 = 37500 \text{ BTU/jam}$$

Jika menggunakan 1 PK adalah 9000 BTU / jam, maka PK_{AC} yang dibutuhkan menjadi:

$$PK_{AC} \text{ yang dibutuhkan} = \frac{37500}{9000} = 4,17 \text{ PK}$$

Jadi kapasitas AC yang diperlukan dalam ruangan tersebut adalah 4,17 PK. Sedangkan PK AC yang terpasang pada ruangan tersebut adalah 4 x 2,5 PK = 10 PK, yang ini berarti kelebihan 5,83 PK.

Jika dimisalkan melakukan penggantian pada empat buah AC standar dengan empat buah AC *inverter* berkapasitas 1,5 PK, atau setara dengan 620 W, maka dapat dihitung selisih penggunaannya. Dengan menggunakan persamaan (2-4), dapat dihitung penggunaan energi listrik untuk empat buah AC standar berkapasitas 2,5 PK yaitu sebesar:

$$W = P \times t$$

$$W = (4 \times 2570) \times 24 = 246720 \text{ Wh} = 246,720 \text{ kWh}$$

Sedangkan jika menggunakan empat buah AC hemat energi *inverter* berkapasitas 1,5 PK, dalam sehari akan membutuhkan energi listrik sebesar:

$$W = P \times t$$

$$W = (4 \times 620) \times 24 = 59520 \text{ Wh} = 59,520 \text{ kWh}$$

Selisih antara penggunaan AC standar dengan AC hemat energi adalah sebesar 246,720 kWh – 59,520 kWh = 187,2 kWh.

Penggunaan AC hemat energi 1 PK memberikan penghematan sebesar 88,3 % atau sebesar Rp 48.122.184, 1,5 PK memberikan penghematan sebesar 75,8 % atau sebesar Rp 41.338.440, 2 PK memberikan penghematan sebesar 61,0 % atau sebesar Rp 33.282.744, dan 2,5 PK memberikan penghematan sebesar 26,8 % atau sebesar Rp 14.627.448.

Simple payback period yang diberikan dari penggunaan AC 1 PK adalah sebesar 0,08 tahun atau satu bulan. *Simple payback period* yang diberikan dari penggunaan AC 1,5 PK adalah sebesar 0,14 tahun atau dua bulan. *Simple payback period* yang diberikan dari penggunaan AC 2 PK adalah sebesar 0,25 tahun atau tiga bulan. *Simple payback period* yang diberikan dari penggunaan AC 2,5 PK adalah sebesar 0,83 tahun atau 10 bulan.

D. Analisis Penggunaan Lampu

Dari hasil pengukuran terhadap intensitas lampu didapat bahwa intensitas penerangan rata – rata adalah sebesar 282,215 lux. Menurut standar *United*

Nation Environment Programme untuk kuat penerangan pada kawasan industri yang terdapat mesin kerja dan proses umum industri kimia, bahwa kuat penerangan yang direkomendasikan adalah sebesar 300 lux. Hasil pengukuran untuk kuat penerangan rata – rata adalah sebesar 282,215 lux sehingga belum memenuhi standar.

Jika dihitung kebutuhan energi listrik untuk enam buah lampu di ruang *burner* selama sehari dengan penggunaan 14 jam dengan menggunakan persamaan (2-4) adalah sebagai berikut:

$$W = P \times t$$

$$W = 6 \times 330 \times 14 = 27720 \text{ Wh} = 27,72 \text{ kWh}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-13), didapatkan indeks ruang sebesar, 2,15. Kemudian dengan menggunakan metode interpolasi, didapat efisiensi (η) sebesar 0,602. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan banyak titik lampu yang diperlukan sesuai persamaan (2-12), dimana $L_1 \times L_2 = LLF$ (*Light Loss Factor*) yang untuk industri telah ditetapkan sebesar 0,7.

$$n = \frac{E \times A}{L_u \times L_1 \times L_2 \times C_u} = \frac{E \times A}{L_u \times LLF \times C_u}$$

$$n = \frac{300 \times 720}{12700 \times 0,7 \times 0,602} = 40,36 \approx 40$$

Dari perhitungan di atas, didapat bahwa dalam satu ruangan *burner* diperlukan 40 buah lampu sedangkan di lapangan hanya terdapat enam buah lampu. Menurut sumber dari lapangan, ruangan *burner* tidak membutuhkan penerangan yang terlalu baik karena tidak ada pekerjaan yang membutuhkan ketelitian tinggi.

Penggunaan lampu merkuri 250 W juga merupakan salah satu bentuk pemborosan energi listrik karena daya yang besar serta menghasilkan panas yang tinggi pada permukaan lampu. Lampu merkuri juga masih menggunakan *ballast* konvensional sedangkan penggunaan *ballast* elektronik lebih menghemat energi.

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa dengan menggunakan lampu hemat energi dalam setahun dapat menghemat sebesar 69,77 % atau Rp 4.283.097,5 dan investasi akan kembali setelah 2,8 tahun atau 2 tahun 10 bulan.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis dari upaya penghematan energi pada PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto *Factory* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi kelistrikan pada transformator 1500 kVA masih belum efisien karena:

- a. Terdapat pembebanan yang tidak seimbang pada beberapa panel karena prosentase pembebanan yang berbeda dan berubah – ubah pada tiga kali pengukuran.
 - b. Terdapat pula penyimpangan daya yang tidak seimbang pada fasa tertentu. Penyimpangan konsumsi daya terbesar pada pukul 08.00 WIB ada pada fasa T yaitu sebesar 150,106%, pada pukul 12.00 WIB ada pada fasa T yaitu 120,22%, dan pada pukul 16.00 WIB ada pada fasa S yaitu 185,6%.
 - c. Nilai arus harmonisa pada beberapa tiitk belum memenuhi standar IEEE 519–1992, yaitu di atas 15%. Sedangkan harmonisa tegangan masih sesuai standar IEEE 519–1992, yaitu di bawah 15%.
 - d. Kondisi koneksi kabel juga masih kurang baik karena pada hasil pengukuran terdapat beberapa titik sambungan yang melebihi suhu ruangan normal, yaitu 27°C.
2. Pada penggunaan beberapa beban listrik ditemukan keadaan yang belum sesuai standar, di antaranya adalah sebagai berikut:
 - a. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa beberapa motor memiliki temperatur di atas standar temperatur yang ditetapkan yaitu 70°C dan memiliki temperatur rata – rata di atas temperatur *ambient* yaitu 40°C.
 - b. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ada beberapa motor yang memiliki getaran di atas standar yang ditetapkan, yaitu 28 mm/s.
 - c. Dari hasil pengukuran dan perhitungan tampak bahwa sebagian besar motor dibebani secara normal, yaitu 50% hingga 100%. Namun penggunaan beban berlebih terdapat pada motor kompresor. Penggunaan inverter berpengaruh pada hasil perhitungan beban motor karena motor yang menggunakan inverter cenderung memiliki pembebanan di atas 50%.
 - d. Pemasangan empat buah AC konvensional menyebabkan pendinginan tidak merata dan pemborosan energi listrik. PK_{AC} yang dibutuhkan adalah 4,17 PK sedangkan yang terdapat di lapangan adalah sebesar 10 PK.
 - e. Pemasangan lampu pada ruangan *burner* hanya enam buah, sedangkan dari hasil perhitungan membutuhkan 40 buah lampu.
 3. Potensi penghematan energi listrik untuk mendapatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik di antaranya adalah:
 - a. Melakukan pemerataan beban untuk menyeimbangkan fasa pada panel.
 - b. Menambah penggunaan *frequency inverter* pada motor-motor yang melayani beban yang berubah-ubah dapat menghemat konsumsi energi listrik.
 - c. Melakukan pembagian AC dan mengganti dengan AC hemat energi berteknologi inverter untuk mendapatkan penghematan sebesar 88,3% untuk AC *inverter* 1 PK, 75,8% untuk AC *inverter* 1,5 PK, 61,0% untuk AC *inverter* 2 PK, dan 26,8% untuk AC *inverter* 2,5 PK.
 - d. Menggunakan lampu hemat energi dan *ballast* elektronik karena dapat menghemat energi listrik dan pengeluaran sebesar 69,77%

B. Saran

Dari kesimpulan di atas mengenai upaya penghematan energi listrik maka ada beberapa saran untuk melakukan upaya penghematan energi ke depannya:

1. Melakukan pengecekan dan pemeliharaan berkala terhadap instalasi dan komponen-komponen yang terdapat pada beban – beban listrik.
2. Diperlukan pengkajian yang lebih mendalam untuk mengetahui hubungan antara daya *output* motor terhadap getaran dan temperatur, serta pembebanan motor terhadap perbaikan efisiensi.
3. Menggunakan AC berteknologi *inverter* dan lampu hemat energi atau LVD untuk mendapatkan penghematan dalam konsumsi energi listrik dan pengeluaran tahunan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bruke. James J. *Power Distribution Engineering Fundamentals And Applications*. New York: Marcel Dekker Inc, 1994.
- [2] Centre For Renewable Energy Sources. 2000. *Energy Audit Guide Part A: Methodology and Technics*. Athens.
- [3] Commtest Instruments Ltd. 2006. *Beginner's Guide to Machine Vibration*. New Zealand: Commtest Instruments Ltd.
- [4] De Bruyne, Patrick. 2011. *Effects of Contact Resistances in Multi-strand Cables on Linear Resistance Measurements*. Switzerland: AESA Cortaillod
- [5] Finley, William R. 1999. *An Analytical Approach to Solving Motor Vibration Problems*. Norwood: Siemens Energy & Automation, Inc.
- [6] IEC60034-1. 2004. *Rotating electrical machines –Part 1: Rating and performance*.
- [7] IEC 60034-14. 2003. *Rotating electrical machines - Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and*

- higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity.
- [8] IEC 85. 1984. *Thermal Evaluation and Classification of Electrical Insulation*.
 - [9] IEEE 519-1992. 1992. *Recommended Practice And Requirement For Harmonic. Control In Electric Power System*.
 - [10] IEEE Std 739-1995. 1995. *IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*.
 - [11] Instruksi Presiden Republik Indonesia No. 13 Tahun 2011 tentang Penghematan Energi dan Air.
 - [12] Maruli, Saud. 2006. *Penambahan Pengaman Motor Listrik Dengan Sensor Suhu IC LM 135*.
 - [13] P. Van Harten. 2002. *Instalasi Listrik Arus Kuat 2*. Trimitra Mandiri.
 - [14] Thumann, Albert & William J. Younger. 2003. *Handbook of Energy Audits Sixth Edition*. Georgia: The Fairmont Press, Inc.
 - [15] Turner, Wayne C. 2005. *Energy Management Handbook*. USA: Fairmont Press, Inc.
 - [16] United Nation Environment Programme. 2006. *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. (www.energyefficiencyasia.org).
 - [17] WEG. 2009. *Induction Motors Fed By PWM Frequency Inverters*.
 - [18] Zuhail. 2004. *Prinsip Dasar Elektroteknik*. Bandung: Bina Cipta.

