

Audit Energi Tipe-1 Motor Induksi TEFC: Studi Kasus pada Perusahaan Industri Makanan Ringan di Jawa Timur

Julius Sentosa Setiadji¹, Yusak Tanoto^{2*}

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Kristen Petra

¹julius@petra.ac.id, ²tanyusak@petra.ac.id

Abstrak

Audit energi pada motor listrik merupakan salah satu aspek prosedur penting dalam rangka implementasi manajemen sistem energi listrik. Audit energi pada motor sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi kinerja motor, terutama terkait dengan konsumsi energi listrik aktual motor yang dipengaruhi oleh tingkat pembebahan dan efisiensi aktual motor pada tingkat pembebahan tertentu. Makalah ini membahas pelaksanaan audit energi tipe-1 (*walk through audit*) motor listrik induksi TEFC (*Totally Enclosed Fan Cooled*) pada sebuah industri manufaktur makanan ringan di Jawa Timur. Pembahasan mencakup identifikasi masalah, perencanaan, termasuk prosedur pelaksanaan, analisa rekomendasi alternatif solusi, hingga penerapan, evaluasi, dan rencana perbaikan. Analisa penghematan energi dan biaya operasional energi listrik yang dilakukan didasarkan pada pendekatan pengukuran arus motor dalam rangka mendapatkan estimasi pembebahan. Dari hasil analisa didapatkan potensi penghematan biaya listrik hingga Rp. 210,000,000 per tahun jika rekomendasi audit diimplementasikan terhadap sekitar 50% dari total jumlah motor. Dengan asumsi penghematan daya listrik rata-rata per motor sebesar 0.2 kW, didapatkan potensi pengembalian modal investasi yang cukup atraktif, yaitu antara 1-5 tahun.

Kata kunci: efisiensi energi, motor induksi, audit energi, pembebahan, manajemen energi

Abstract

An electric motor's energy audit is a crucial procedural aspect in the context of implementing electrical energy system management. An energy audit of the motor is necessary to determine its performance, particularly in terms of actual electrical energy consumption, which is influenced by the motor's loading level and its actual efficiency at that specific loading level. This paper discusses the implementation of a type-1 energy audit, also known as the walkthrough audit, of a TEFC (Totally Enclosed Fan Cooled) induction electric motor in a snack food manufacturing industry in East Java. The discussion includes problem identification, planning and implementation procedures, analysis of alternative solutions, implementation, evaluation, and improvement plans. Energy savings and operational costs analysis of electrical energy are carried out based on the motor's current measurement approach to obtain estimated loadings. It is revealed that the potential for saving electricity costs is up to Rp. 210,000,000 per year if the audit recommendations are implemented, considering 50% of the total number of motors. Assuming the average electric power savings per motor is 0.2 kW, an attractive potential payback period could be achieved, which is between 1 and 5 years.

Keywords: energy efficiency, induction motor, energy audit, loading, energy management

1. Pendahuluan

Tantangan persaingan dan kompetisi diantara industri manufaktur, termasuk industri *food and beverage*, semakin ketat dari waktu ke waktu, ditambah dengan semakin mahalnya biaya operasional, energi dan sumber daya manusia. Efisiensi energi menjadi salah satu indikator yang sangat potensial untuk dicapai dan diperlukan bagi industri agar tetap dapat berkembang dan bersaing dengan industri sejenis [1] [2]. Di sisi lain, masih banyak industri *food and beverage* yang belum menerapkan manajemen energi dalam proses produksinya [3], meskipun industri ini termasuk *energy intensive industry* [4], dan potensi penghematan energinya bisa mencapai 18% [5].

Manajemen sistem energi merupakan bagian penting dari proses produksi di industri manufaktur, dimana terdapat kontribusi energi listrik secara signifikan. Selain itu, implementasi manajemen sistem energi dapat mendukung kelancaran proses produksi melalui mekanisme PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) [6] [7]. Dalam konteks energi listrik, hal ini dilakukan melalui perencanaan, pelaksanaan, pemantauan atau pengawasan [8], dan evaluasi kehandalan suplai listrik, serta unjuk kerja mesin/peralatan listrik yang efisien dan *durable* [9]. Proses ini dapat dilaksanakan melalui aktivitas audit energi [10].

Audit energi pada motor listrik merupakan salah satu aspek penting untuk mencapai efisiensi energi listrik [11]. Audit energi motor berkontribusi pada penghematan energi di industri manufaktur dan pencapaian target penurunan emisi CO₂ nasional dan global [12]. Audit energi motor diperlukan untuk mengetahui kondisi kinerja motor, terutama terkait dengan konsumsi energi aktual yang dipengaruhi oleh tingkat pemberahan (*loading*) dan efisiensi aktual motor pada tingkat *loading* tertentu [13].

Konsumsi energi listrik pada motor jarang diukur dan dipantau. Oleh karena itu, diperlukan aktivitas observasi dan pengukuran yang bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter kelistrikan dari kinerja motor untuk dibandingkan dengan spesifikasi motor pada beban penuh. Informasi dan data teknis yang didapatkan dari pelaksanaan mekanisme audit energi ini selanjutnya berguna untuk analisa rekomendasi konservasi energi, sehingga akan didapatkan potensi penghematan energi dan biaya operasional yang menjadi konsekuensinya.

Makalah ini membahas implementasi audit energi tipe-1, atau yang dikenal dengan istilah *the walkthrough audit* [14] pada motor induksi di sebuah industri manufaktur makanan ringan. Adapun struktur makalah terdiri dari studi literatur, yang memaparkan pengertian motor induksi secara singkat, dan upaya peningkatan efisiensi energi yang dapat dilakukan di industri manufaktur melalui audit energi pada motor induksi. Selanjutnya, dipaparkan identifikasi masalah, perencanaan, termasuk prosedur pelaksanaan, dan hasil analisa rekomendasi solusi, serta evaluasi finansial pada bagian pembahasan. Kesimpulan, termasuk potensi analisa lanjutan akan dipaparkan pada bagian akhir makalah ini.

2. Studi Literatur

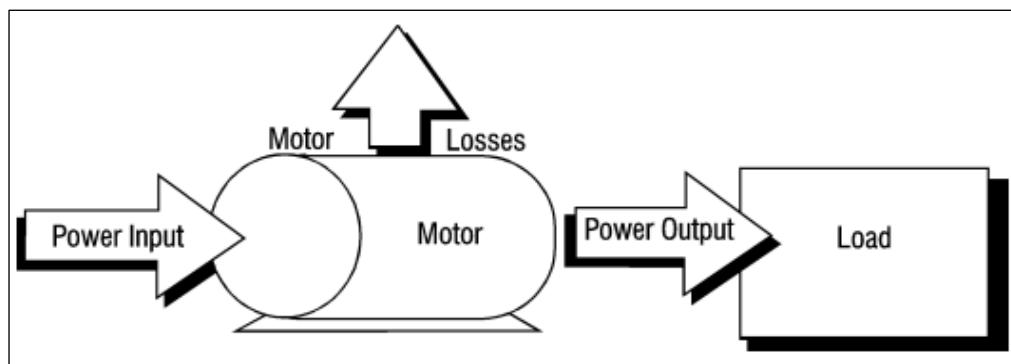
Motor induksi, atau disebut juga motor asinkron, merupakan salah satu jenis motor listrik AC yang didesain untuk bekerja pada tegangan 1 fasa maupun 3 fasa. Motor induksi 3 fasa mempunyai kapasitas daya *output* yang lebih besar dibanding dengan motor induksi 1 fasa. Motor induksi dengan konstruksi TEFC (*Totally Enclosed Fan Cooled*) merupakan jenis motor yang paling banyak diaplikasikan di berbagai sektor industri manufaktur, diantaranya pada industri *food and beverage*, *textile*, plastik, kimia, logam, keramik, kertas, otomotif, kaca, dan sebagainya [15].

Motor induksi 3 fasa TEFC tersusun atas beberapa komponen utama, yaitu rangka baja, *stator coil*, *rotor*, *shaft*, *bearings*, *bracket*, *cooling fan*, *fan cover*, *conduit/wiring box*, *lifting eye*, *conduit box cover*, dan dilengkapi dengan *nameplate*.

Nameplate adalah label keterangan spesifikasi teknis motor, yang memuat informasi penting terkait operasional kelistrikan motor, dan informasi lainnya, diantaranya: 1) perusahaan atau pabrik pembuat motor, 2) motor ID (*serial number*) dan model, 3) ukuran dan tipe *frame*, 4) *full load speed* (RPM), 5) daya *output* motor (dalam kW atau HP), 6) jumlah kutub motor (*poles*), 7) frekuensi (Hz), 8) tegangan kerja (Volt), 9) *full load efficiency* (%), 10) *insulation class*, 11) *full load power factor* (%), 12) *ambient temperature*, dan 13) keterangan koneksi terminal tegangan (*Star/Delta*).

2.1. Upaya Peningkatan Efisiensi Energi

Penghematan energi listrik pada aplikasi motor terkait dengan faktor efisiensi motor. Efisiensi yang tertera dalam *nameplate* motor adalah efisiensi saat beban penuh (*full load efficiency*). Efisiensi motor secara sederhana berhubungan dengan daya *input* (*power input*), rugi-rugi motor (*motor losses*), dan daya *output* (*power output*), seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1 berikut ini [16].



Gambar 1. Ilustrasi efisiensi motor [16]

Dari Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi motor adalah perbedaan antara daya *input* dan *power output*. Jika efisiensi motor telah ditentukan dan daya *input* diketahui, maka rugi-rugi motor dapat dihitung. Efisiensi saat motor beroperasi pada persentase pembebanan (*loading*) tertentu dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 1 berikut ini [17].

$$\eta = \frac{(P_n \times Load)}{P_a} \quad (1)$$

Dimana η adalah efisiensi motor pada persentase *loading* tertentu, P_n adalah rated output power (kW), *Load* adalah prosentase *power output* terhadap *rated output power*, dan P_a adalah *power input* (kW).

Analisa peningkatan efisiensi energi pada motor mengasumsikan bahwa motor *existing* beroperasi sesuai dengan efisiensi yang disebutkan pada *nameplate*. Asumsi ini dapat diterima dan valid untuk tingkat *loading* diatas 50% karena efisiensi motor pada umumnya mencapai puncaknya pada tingkat *loading* sekitar 70-80%, dan untuk motor dengan daya besar, kinerja motor pada 50% tingkat *loading* hampir sama dengan pada saat beban penuh [17].

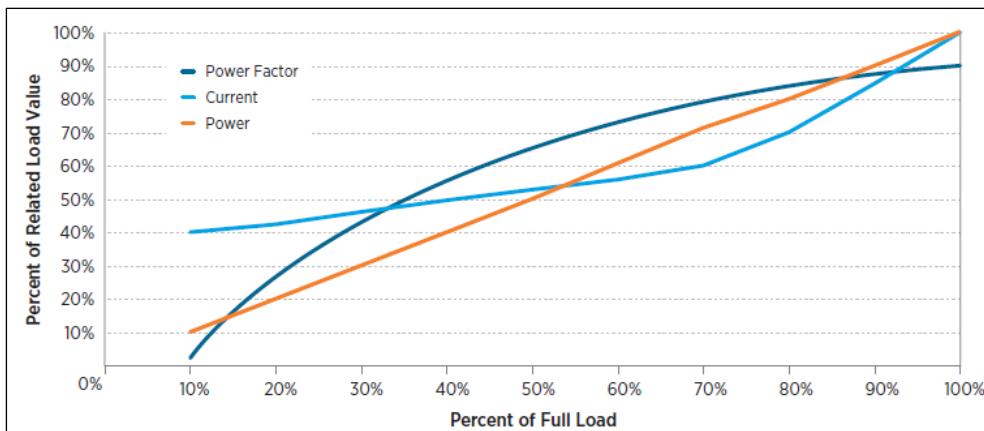
Selain itu, terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi efisiensi motor, diantaranya usia pemakaian, kapasitas, kecepatan, tipe, temperatur kerja dan lingkungan sekitar, *loading*, dan apakah motor telah di-*rewinding* atau belum [18]. Efisiensi motor

secara umum (untuk motor dengan daya rendah hingga menengah) akan turun tajam jika dibebani kurang dari 50%.

2.2. Teknik Estimasi Penentuan *Loading Motor* Induksi

Pada sebuah sistem ketenagalistrikan tiga fasa, sangat dianjurkan untuk melakukan pengukuran terhadap parameter-parameter operasional motor, diantaranya: tegangan antar fasa, arus tiap fasa, faktor daya, dan kecepatan operasional motor. Pengukuran parameter-parameter tersebut diperlukan untuk mengetahui unjuk kerja motor dibandingkan dengan kondisi *full load loading* sebagaimana yang tertera pada *nameplate*, dan sebaiknya dilakukan menggunakan alat ukur *true RMS* untuk menghindari kesalahan pengukuran karena bentuk gelombang sinusoidal tegangan/arus yang tidak sempurna yang disebabkan karena timbulnya harmonisa.

Pada dasarnya, hubungan antara daya, arus, faktor daya, dan *loading* motor dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini [17].



Gambar 2. Hubungan antara daya, arus, faktor daya, dan loading motor [17]

Persamaan 2 memberikan petunjuk awal mengenai cara menentukan atau mengestimasi *loading* (*L*) motor. Estimasi nilai *loading* motor aktual (saat motor *running*) dapat dilakukan dengan tiga metode pendekatan, yaitu pengukuran daya *input*, pengukuran arus, atau pengukuran kecepatan motor [16]. Pada bagian ini dipaparkan metode pengukuran arus, sebagai berikut.

$$L = \left(\frac{I}{I_{np}} \times \frac{V}{V_{np}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana *I* adalah arus nominal RMS, rata-rata tiga fasa (ampere), *I_{np}* adalah arus nameplate (ampere), *V_{np}* adalah tegangan 3 fasa nameplate, misalnya 380 Volt, *V* adalah tegangan RMS, rata-rata antar fasa (Volt).

Metode pengukuran arus direkomendasikan jika pada saat pengukuran hanya tersedia alat ukur untuk pengukuran arus (dan tegangan). Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa arus yang ditarik oleh motor berubah-ubah sebanding dengan tingkat *loading*, dan turun sekitar 50% beban penuhnya sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Dibawah 50% tingkat *loading*, faktor daya mengalami penurunan dan menyebabkan bentuk kurva arus menjadi *nonlinear*.

2.3. Upaya Penghematan Energi dan Biaya

Analisa estimasi penentuan *loading* motor memberikan gambaran alternatif rekomendasi penghematan energi pada aplikasi motor induksi. Setelah *loading* dan efisiensi motor dapat

ditentukan, salah satu upaya penghematan energi yang secara praktikal dapat dilakukan adalah melalui penggantian motor. Hal ini dapat dilakukan pada saat motor *existing* mengalami kerusakan (*failure*) jika tidak dapat digantikan segera untuk meminimalisir interupsi pada proses produksi, ataupun ketika tiba saatnya masa perawatan berkala.

Jika penggantian motor dilakukan saat motor *existing* mengalami kerusakan, sehingga perlu diganti atau diperbaiki segera, maka alternatif yang tersedia diantaranya memperbaiki motor *existing* yang rusak tersebut atau mengganti motor *existing* dengan motor hemat energi. Dalam hal menggantikan dengan motor hemat energi, perlu diperhatikan bahwa daya motor pengganti bisa sama dengan motor *existing* jika tingkat *loading* motor sudah optimal (sekitar 60-80%), ataupun direkomendasikan untuk *downsizing* jika *loading* motor kurang dari 50 [19].

Motor hemat energi mempunyai kelebihan dibandingkan dengan motor standar, diantaranya mempunyai rugi-rugi intrinsik (rugi tembaga, rugi inti besi, rugi gesekan) yang lebih rendah dan efisiensi berkisar 3-7% lebih tinggi. Potensi penghematan biaya dapat diperkirakan dengan menentukan konsumsi energi listrik dalam satu tahun dan penghematan daya. Untuk dua motor yang beroperasi pada kondisi *loading* yang relatif sama, yaitu dua motor dengan daya *input* yang sama tetapi mempunyai efisiensi yang berbeda, pengurangan daya input (kW) dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3 berikut ini [17]:

$$kW_{saved} = HP \times \left(\frac{\text{load \%}}{100} \right) \times 0.746 \times \left(\frac{100}{\eta_{motor \ existing}} - \frac{100}{\eta_{motor \ pengganti}} \right) \quad (3)$$

Dimana kW_{saved} adalah penghematan dari peningkatan efisiensi (kW), η adalah *nameplate rated horsepower*, *Load* adalah % power *output* terhadap *rated power*, $\eta_{motor \ existing}$ adalah efisiensi motor *existing* (%), $\eta_{motor \ pengganti}$ adalah efisiensi motor pengganti (%).

Dari Persamaan 3, penghematan energi listrik yang dapat dicapai dapat ditentukan dengan mengalikan kW_{saved} dengan jam operasional dalam satu tahun. Sementara itu, untuk motor yang memiliki daya berbeda, $KWh_{savings}$ dapat ditentukan melalui Persamaan 4. berikut ini.

$$KWh_{savings} = kW_{reduction} \times jam \quad (4)$$

Dimana $KWh_{savings}$ adalah total penghematan energi listrik (kWh), kW_{saved} adalah penghematan dari peningkatan efisiensi (kW).

Potensi penghematan biaya energi listrik yang dibayarkan dapat diestimasikan melalui perkalian antara $KWh_{savings}$ dan tarif listrik (misalkan dalam Rupiah/kWh). Penghematan total biaya dapat meliputi biaya energi dan biaya *charge* bulanan dalam unit mata uang per kW (jika ada). Kelayakan ekonomis dari upaya penghematan energi dapat ditentukan melalui berbagai metode. Dalam hal ini, kelayakan investasi proyek penghematan energi pada motor dapat diestimasikan secara cepat melalui salah satu pendekatan yang paling sederhana yaitu metode *simple payback* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$\text{Simple payback} = \frac{\text{total biaya investasi (capital dan instalasi)}}{\text{net savings per tahun}} \quad (5)$$

Pendekatan ini menghitung waktu pengembalian modal investasi dalam tahun dengan cara membagi keseluruhan biaya investasi (pengadaan dan instalasi) dengan *net saving* per tahun (penghematan biaya energi dikurangi biaya operasional dan perawatan). Meskipun pendekatan *simple payback* mengesampingkan faktor *time value of money*, penggunaan metode *simple payback* dianggap sudah cukup memadai sebagai estimasi awal.

3. Pembahasan

Tingkat pembebaan (*loading*) dan efisiensi merupakan dua faktor penting pada penggunaan motor listrik, khususnya motor induksi, yang dapat mempengaruhi kinerja sistem ketenagalistrikan di sisi beban atau konsumen. Dalam hal ini, rendahnya prosentase *loading* dan efisiensi motor menyebabkan pemborosan energi, yang berpengaruh secara langsung pada makin tingginya biaya operasional. Pada lokasi studi kasus, teridentifikasi adanya permasalahan tingkat *loading* dan efisiensi motor, dimana ada motor mempunyai tingkat *loading* yang rendah (di bawah 60%) dan/atau memiliki efisiensi di bawah 75%.

Selain itu, terdapat motor-motor yang memiliki *loading* yang tidak optimal, yaitu kurang dari 60% atau diatas 80%. Selain itu, ada pula beberapa motor yang telah memiliki efisiensi dan tingkat *loading* yang cukup baik, namun masih ada ruang untuk peningkatan penghematan energi. Sementara itu, secara keseluruhan terdapat 674-unit motor induksi (sebagian besar motor tiga fasa). Motor-motor yang digunakan pada fasilitas produksi di lokasi studi kasus mempunyai daya *output* sebesar 0.18 kW – 30 kW.

Bagian ini menampilkan contoh spesifikasi teknis dari beberapa motor dengan tingkat *loading* rendah dan/atau yang memiliki efisiensi dibawah 75%, contoh spesifikasi teknis motor yang memiliki tingkat *loading* yang tidak optimal, maupun contoh motor dengan tingkat *loading* dan efisiensi yang sudah baik tetapi masih memiliki ruang untuk peningkatan penghematan energi. Selain itu, bagian ini juga membahas analisa tingkat *loading* dan efisiensi motor, dan rekomendasi pemilihan motor pengganti sebagai alternatif solusi yang bertujuan untuk memperbaiki kondisi *loading* dan meningkatkan efisiensi motor yang terdapat pada lokasi studi kasus.

Aktivitas audit energi tipe-1 (*the walk-through audit*) yang dilakukan meliputi beberapa aktivitas observasi dan analisa yang dilakukan antara lain:

1. Peninjauan lapangan untuk mengetahui letak mesin produksi dan mengamati jalannya mesin, beserta motor yang digunakan.
2. Peninjauan *datasheet/katalog* motor dan pencatatan/inventarisasi spesifikasi *existing motor*.
3. Pengukuran arus *running* ($I_{running}$) yang dibutuhkan untuk melakukan analisa *loading* motor dengan pendekatan pengukuran arus.
4. Analisa *loading* motor, yang meliputi parameter P_a , I , dan prosentase *loading*.
5. Analisa peningkatan efisiensi dan/atau tingkat *loading* motor melalui penggantian motor dalam rangka upaya penghematan energi.

Tabel 1 berikut ini menampilkan contoh spesifikasi (*data nameplate* yang terdiri dari *rated power output* (P_n), $I_{nameplate}$ (I_{np}), $\cos \theta$, Efisiensi (Eff), dan RPM), dan pengukuran arus *running* (I) dari beberapa motor induksi 3 fasa *existing* (380 V), yang menjadi fokus perhatian untuk kemudian dianalisa lebih lanjut.

Tabel 1. Contoh spesifikasi motor induksi 3 fasa existing dan hasil pengukuran arus running

Nama motor	P_n (kW)	I_{np} (A)	I_{RMS} (A)			$\cos \theta$	Eff (η)	RPM
			R	S	T			
Motor utama penggerak <i>roll sheet</i>	0.75	1.9	1.5	1.4	1.4	0.81	0.72	1,395
Motor <i>conveyor input</i>	0.75	1.9	1.5	1.5	1.5	0.81	0.72	1,395
Motor utama penggerak <i>loyang</i>	4	8.7	7	7.1	7	0.81	0.845	1,430
Motor <i>main conveyor</i>	0.75	1.9	1.5	1.5	1.4	0.81	0.72	1,395
Motor <i>loyang</i>	1.5	3.5	2.6	2.7	2.6	0.81	0.77	1,400
Motor utama <i>Ballmil</i>	11	22.64	17.4	16.7	17.3	0.84	0.89	1,460
Motor pompa <i>transfer cream</i>	2.2	4.95	2.4	2.2	2.3	0.82	0.82	1,420
Motor utama <i>Tempering</i>	1.5	3.56	1.7	1.8	1.7	0.81	0.79	1,420
Motor utama <i>pre-mixer</i>	7.5	16	7.1	7.3	7.2	0.82	0.875	1,455
Motor <i>main feeding</i>	0.75	1.9	1.6	1.5	1.5	0.81	0.72	1,395

Dari data yang terkumpul dan pengukuran yang telah dilakukan sebagaimana ditampilkan di Tabel 1, selanjutnya dilakukan analisa *loading* motor. Analisa ini membutuhkan hasil perhitungan daya input (P_a), arus nominal (I), dan prosentase *loading* untuk motor-motor yang ditampilkan pada Tabel 1. Contoh perhitungan manual daya *input* (P_a), arus nominal (I), dan prosentase *loading* untuk motor utama *Tempering*, dengan spesifikasi sebagaimana diberikan pada Tabel 1, memperlihatkan bahwa daya *input* yang dibutuhkan motor dan arus nominalnya adalah sebesar 2.34 kVA dan 3.56 A.

Dari perhitungan ini, dapat disimpulkan bahwa agar motor dapat memberikan daya *output* sebesar 1.5 kW diperlukan daya *input* sebesar 2.34 kVA dan arus nominal sebesar 3.56 A. Arus nominal (I) ini juga merupakan arus motor pada beban penuh sebagaimana tertulis dalam *nameplate*. Studi ini menggunakan metode pengukuran arus untuk menentukan *loading* motor. Dengan membandingkan arus nominal (I) dan $I_{nameplate}$ seperti pada Persamaan 2, maka tingkat *loading* motor adalah sebesar 48.67%. Pada perhitungan ini, perbandingan V dan V_{np} diasumsikan sama dengan 1, sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Dengan menggunakan rumus yang sama, maka nilai daya *input* (P_a), arus nominal (I), dan kondisi *loading* untuk motor-motor lainnya dapat ditentukan, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2. Kondisi motor *oversized* dengan daya motor yang relatif besar, dibanding dengan keseluruhan juga banyak dijumpai.

Analisa selanjutnya berkaitan dengan upaya peningkatan efisiensi dan/atau tingkat *loading* motor melalui penggantian motor dalam rangka penghematan energi. Rekomendasi alternatif penggantian untuk motor-motor lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Dalam hal ini, motor utama *Tempering* akan digunakan sebagai contoh analisa. Motor tersebut dikategorikan *oversized*, karena memiliki tingkat *loading* kurang dari 50%. Oleh karena itu, direkomendasikan untuk mengganti motor *existing* dengan motor yang memiliki P_n yang lebih rendah, sehingga akan memenuhi standar pembebaran 50-100%. Motor yang dapat digunakan sebagai pengganti sebaiknya merupakan jenis motor hemat energi, sehingga potensi penghematan energi yang dapat diraih dari penggantian ini dapat dioptimalkan. Motor pengganti yang dipilih memiliki spesifikasi $P_n = 1.1$ kW; $V = 380$ V; $I_{np} = 2.55$ A; $\eta = 0.84$. Untuk motor pengganti dengan daya $P_n = 1.1$ kW ini, didapatkan nilai P_a sebesar 1.7 kVA; I sebesar 2.58 A; dan prosentase *loading* sebesar 67.08%.

Tabel 2. Nilai Daya Input (P_a), Arus Nominal I dan Kondisi *Loading* untuk Contoh Spesifikasi Motor di Tabel 1

Nama motor	P_a (kW)	I_{RMS} (A)	Loading (%)	Keterangan Loading
Motor utama penggerak <i>roll sheet</i>	1.29	1.95	73.35	<i>optimum</i>
Motor <i>conveyor input</i>	1.29	1.95	76.77	<i>optimum</i>
Motor utama penggerak loyang	5.84	8.88	79.21	<i>optimum</i>
Motor <i>main conveyor</i>	1.29	1.95	75.06	<i>optimum</i>
Motor loyang	2.41	3.65	72.06	<i>optimum</i>
Motor utama <i>Ballmil</i>	14.79	22.48	76.06	<i>optimum</i>
Motor <i>pompa transfer cream</i>	3.27	4.97	46.27	<i>oversized</i>
Motor utama <i>Tempering</i>	2.34	3.56	48.67	<i>oversized</i>
Motor utama <i>pre-mixer</i>	10.45	15.88	45.33	<i>oversized</i>
Motor <i>main feeding</i>	1.29	1.95	78.48	<i>optimum</i>

Tabel 3. Rekomendasi Alternatif Motor Pengganti dalam Rangka Upaya Penghematan Energi

Nama motor	P_n (kW)	P_a (kVA)	I_{RMS} (A)	Eff (η)	Loading (%)	Power saving (kW)
Motor utama penggerak <i>roll sheet</i>	0.75	1.24	1.87	0.81	76.41	0.12
Motor <i>conveyor input</i>	0.75	1.24	1.87	0.81	79.97	0.12
Motor utama penggerak loyang	4	5.58	8.48	0.89	82.96	0.22
Motor <i>main conveyor</i>	0.75	1.24	1.87	0.81	81.75	0.12
Motor loyang	1.5	2.30	3.48	0.85	75.63	0.18
Motor utama <i>Ballmil</i>	11	14.14	21.49	0.92	79.58	0.41
Motor <i>pompa transfer cream</i>	1.5	2.29	3.48	0.85	66.05	0.70
Motor utama <i>Tempering</i>	1.1	1.70	2.58	0.84	67.08	0.40
Motor utama <i>pre-mixer</i>	5.5	7.32	11.12	0.90	64.78	2.00
Motor <i>main feeding</i>	0.75	1.24	1.87	0.81	81.75	0.12

Dalam hal ini, potensi penghematan daya yang didapatkan untuk kasus penggantian motor dengan daya yang lebih rendah adalah berdasarkan pengurangan P_n (daya output motor *existing* dikurangi daya output motor pengganti), yaitu sebesar 0.4 kW. Sementara itu, potensi penghematan daya dari motor pengganti yang memiliki P_n sama dengan motor *existing*, sebagaimana dibahas di teori penunjang, diperoleh dengan mempertimbangkan perbedaan efisiensi antara motor pengganti dan motor *existing*.

Beberapa hal dapat dicermati dari analisa rekomendasi alternatif motor pengganti sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 3. Terdapat kondisi *loading* motor yang sudah optimal namun masih terdapat ruang untuk penghematan energi melalui penggantian motor *existing* dengan motor hemat energi dengan daya *output* yang sama. Pada lokasi studi kasus terdapat ratusan motor *existing* yang mempunyai spesifikasi P_n sebesar 0.75 kW dengan efisiensi sekitar 0.7. Sementara motor-motor tersebut pada umumnya memiliki tingkat *loading* yang optimum, masih terdapat ruang untuk mempertimbangkan penggantian motor *existing* dengan motor yang memiliki efisiensi yang lebih baik, tanpa *downsizing*. Kenaikan efisiensi sekitar 8 hingga 10 persen berpotensi untuk memberikan penghematan energi sekitar 0.12 kWh per motor per jam *running*.

Motor dengan daya *output* relatif besar pada umumnya memiliki tingkat efisiensi yang sudah baik (berkisar 0.8). Untuk motor-motor seperti ini dan yang memiliki tingkat *loading* yang sudah baik (antara 60-80%), contohnya motor utama *Ballmil* 11 kW, masih terdapat potensi penghematan energi melalui penggantian motor yang memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi. Dalam kasus ini, efisiensi dapat ditingkatkan dari 0.84 menjadi 0.92,

tanpa *downsizing*. Dalam hal ini, potensi penghematan energi yang didapatkan dapat mencapai 0.41 kWh per motor per jam *running*.

Motor dengan daya *output* relatif besar (dan memiliki efisiensi yang tinggi) namun mempunyai tingkat *loading* yang rendah, contohnya motor utama *pre-mixer* 7.5 kW dengan *loading* berkisar 45% dapat dikategorikan sebagai *oversized motor*. Dalam hal ini, terdapat potensi penghematan energi melalui penggantian motor dengan daya *output* yang lebih rendah. Hal ini dapat dilakukan dengan tujuan menaikkan tingkat *loading*. Dalam kasus ini, motor *existing* diganti dengan motor 5.5 kW, dengan efisiensi beban penuh sebesar 0.9. Konsekuensi positif dari penggantian motor ini adalah *loading* motor meningkat menjadi sekitar 65% dan efisiensi beban penuhnya, seperti yang tertera pada *nameplate*, dapat semakin didekati.

Dari hasil analisa dan contoh rekomendasi motor pengganti yang ditampilkan pada Tabel 3, dapat ditentukan potensi awal kelayakan ekonominya melalui pendekatan *simple payback*. Pada makalah ini, diberikan contoh perhitungan *simple payback* untuk motor dengan penghematan daya yang relatif besar, yaitu motor utama *pre-mixer* (2 kW), dan motor dengan penghematan daya relatif kecil, yaitu motor *conveyor input* (0.12 kW). Untuk mendapatkan perkiraan penghematan biaya tahunan, maka penghematan energi perlu dikonversi menjadi nilai moneternya, sehingga memerlukan data penggunaan motor (jam/tahun) dan biaya pemakaian energi listrik per kWh. Jika motor-motor pada lokasi studi kasus rata-rata *running* selama 8,000 jam/tahun dan tarif listrik industri sebesar Rp. 439/kWh (tarif listrik industri saat pelaksanaan), maka potensi penghematan biaya tahunan untuk satu motor utama *pre-mixer* adalah sebesar Rp. 7,024,000.

Jika harga pembelian satu motor dengan daya *output* 5.5 kW ini adalah sebesar €400 (kurs Rp. 13,700 pada saat pelaksanaan audit, yaitu pada minggu ke-1 hingga minggu ke-2 April 2015) atau Rp. 5,480,000, sementara itu biaya instalasi dan biaya O&M (operasional dan perawatan) per tahun masing-masing diasumsikan hingga 10% [11] dari nilai penghematan, maka total biaya *capital* dan instalasi adalah sebesar Rp. 6,576,000, dan *net savings* per tahun adalah Rp. 6,321,600. Dengan demikian, estimasi *simple payback period* untuk satu motor utama *pre-mixer* adalah 1.04 tahun.

Dengan menggunakan metode yang sama, untuk penggantian motor yang menghasilkan penghematan daya sebesar 0.12 kW, misalkan motor *conveyor input*, akan didapatkan nilai penghematan sebesar Rp. 421,440 per tahun. Jika harga pembelian 1 motor dengan daya *output* 0.75 kW adalah sebesar €160 atau Rp. 2,192,000, maka akan didapatkan estimasi *payback period* 5.2 tahun.

Kedua contoh tersebut memberikan gambaran *range* perkiraan waktu pengembalian modal investasi antara motor dengan daya kecil dan motor dengan daya yang lebih besar. Waktu pengembalian modal untuk motor dengan daya besar cenderung lebih cepat dibandingkan dengan motor kecil karena potensi penghematan energi pada motor besar pada umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan motor kecil, sehingga mengakibatkan semakin cepat balik modal, dan setelahnya akan didapatkan pengeluaran biaya operasional yang lebih rendah karena konsumsi energi yang berkurang.

Namun demikian, mempertimbangkan bahwa pada industri *food and beverage* terdapat banyak motor dengan daya kecil, maka potensi total penghematan biaya operasional tahunan masih cukup besar. Disamping itu waktu pengembalian investasi sekitar 5 tahun masih cukup *reasonable* mengingat masa penggunaan motor induksi yang cukup panjang jika dirawat dengan baik dan bekerja pada kisaran *normal loading*, yaitu dapat mencapai 15 tahun.

Meskipun hasil analisa yang diperoleh sudah cukup baik dan dapat dijadikan acuan awal untuk menentukan potensi penghematan energi dan biaya operasional, namun masih terdapat hal-hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas audit energi terkait kinerja motor ini, diantaranya penerapan metode pengukuran daya *input*. Penerapan metode pengukuran daya *input* merupakan pendekatan yang sangat disarankan karena memiliki validitas keakurasi yang paling tinggi, jika tersedia alat ukur yang lebih lengkap, yaitu dengan mengukur daya *input*, tegangan, arus, dan faktor daya. Oleh karena itu, metode ini disarankan untuk/sebaiknya digunakan pada analisa yang serupa berikutnya, atau untuk audit lanjutan.

4. Kesimpulan

Makalah ini membahas aktivitas audit energi tipe-1 (*the walkthrough audit*) yang dilaksanakan di sebuah perusahaan industri *food and beverage* (makanan ringan) yang berlokasi di Jawa Timur, dengan fokus kinerja *loading* motor induksi. Adapun kesimpulan yang didapatkan antara lain:

- a. Analisa penghematan energi pada studi kasus *loading* motor menggunakan metode pengukuran arus sudah cukup baik dan dapat dijadikan acuan awal untuk menentukan potensi penghematan energi dan biaya energi listrik.
- b. Terdapat potensi penghematan energi yang relatif besar apabila motor-motor *existing* diganti dengan motor-motor yang memiliki daya *output* sama namun memiliki efisiensi lebih tinggi, ataupun dengan motor hemat energi yang memiliki daya *output* lebih rendah (*downsizing*).
- c. Penggantian motor-motor *existing* dengan daya relatif tinggi berpotensi mendapatkan penghematan daya antara 0.4 – 2 kW, sedangkan motor dengan daya rendah berpotensi mendapatkan penghematan daya antara 0.12 – 0.22 kW.
- d. Potensi *payback period* berdasarkan penghematan daya terbesar, yaitu 2 kW, dapat mencapai waktu hanya 1 tahun saja, sedangkan untuk keseluruhan *range* penghematan daya akan berkisar 1 – 5.2 tahun.
- e. Potensi penghematan biaya operasional (energi listrik) jika dilakukan penggantian sekitar 50% motor, dengan asumsi penghematan daya rata-rata 0.2 kW/motor adalah sekitar Rp. 210,000,000/tahun (hasil perhitungan pada saat aktivitas audit energi dilaksanakan), dengan waktu rata-rata pengembalian modal 3-4 tahun, yang dapat dikategorikan atraktif mengingat *lifetime* motor induksi yang cukup panjang.

Daftar Pustaka

- [1] A.K. Paminto, R.S. Sitorus, R. Firmansyah, and N.S. Laili, "Kajian Peningkatan Efisiensi Energi di Industri Pulp dan Kertas," *Jurnal Energi dan Manufaktur*, vol. 13, no. 01, pp. 1–7, 2020.
- [2] D. Chiaroni, V. Chiesa, S. Franzò, F. Frattini, and V.M. Latilla, "Overcoming internal barriers to industrial energy efficiency through energy audit: a case study of a large manufacturing company in the home appliances industry," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol.19, pp. 1031-1046, 2017.
- [3] T. Ridwan, "Perancangan Sistem Manajemen Energi pada industri manufaktur berdasarkan ISO 50001: 2011," *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, vol. 12, no. 01, pp. 88–103, 2020.

- [4] S.E. Rusen, M.A. Topcu, S.A. Celtek, G.K. Celep, and A. Rusen, "Investigation of energy saving potentials of a food factory by energy audit," *Journal of Engineering Research and Applied Science*, vol. 7, no. 01, pp. 848-860, 2018
- [5] D.A. Momani, Y.A. Turk, M.I. Abuashour, H.M. Khalid, S.M. Muyeen, T.O. Sweidan, Z. Said, and M. Hasanuzzaman, "Energy saving potential analysis applying factory scale energy audit – A case study of food production," *Heliyon*, vol. 9, no. 03, e14216, 2023.
- [6] Natural Resources Canada, *ISO 50001 Energy Management Systems Standard* [Online], <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/energy-efficiency-for-industry/energy-management-industry/iso-50001-energy-management-systems-standard/20405>, diakses tanggal 7 Juli 2025.
- [7] B.A. Soedibyo, S. Abduh, and D.N.N. Putri, "Audit Energi Kampus A Usakti untuk Penerapan Sistem Manajemen Energi Berbasis ISO 50001:2011," *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 17, no. 02, pp. 229–245, 2020.
- [8] D. Despa, M.A. Muhammad, A. Surinanto, A. Hamni, G.F. Nama, and Y. Martin, "Monitoring dan Manajemen Energi Listrik Gedung Laboratorium Berbasis Internet of Things (IoT)," *Seminar Nasional Teknik Elektro 2018, Batu, Malang*, pp. 309-313, 2018.
- [9] H. Batih, "Estimasi Dampak Implementasi Kebijakan Terhadap Potensi Konservasi Energi di Sektor Industri," *Energi dan Ketenagalistrikan*, vol. 11, no. 01, pp. 27–36, 2019.
- [10] A. Kluczek, and P. Olszewski, "Energy audits in industrial processes," *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, Part 4, pp. 3437-3453, 2017.
- [11] F. Anagra, "Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik di Unit 1 PLTU Banten 3 Lontar," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 01, pp. 32–38, 2020.
- [12] M.V. Werkhoven and F. Hartkamp, "Pilot Audit Program for Electric Motor-Driven Systems," *Proceedings of the 11th International Conference EEMODS' 19*, pp. 431-438, 2021.
- [13] V.S. Santos, J.J.C. Eras, A.S. Gutierrez, and M.J.C. Ulloa, "Assessment of the energy efficiency estimation methods on induction motors considering real-time monitoring," *Measurement*, vol. 136, pp. 237–247, 2019.
- [14] A. Thumann, T. Niehus, and W.J. Younger, *Handbook of Energy Audit 9th Ed*, Gistrup: River Publishers, 2020.
- [15] A.T. Abdullah and A.M. Ali, "Estimation of Stator Winding Temperature of a Three-Phase Induction Motor," *Iraqi Journal of Computers, Communications, Control & Systems Engineering (IJCCCE)*, vol. 19, no. 02, pp. 9–17, 2019.
- [16] U.S. DOE, Office of Industrial Technologies. *Energy Management for Motor Driven Systems* [Online], https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/NN0116.pdf, diakses tanggal 8 Juli 2025.
- [17] US. DOE, Advanced Manufacturing Office. *Continuous Energy Improvement in Motor Driven Systems: A Guidebook for Industry* [Online] https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/amo_motors_guidebook_web.pdf, diakses tanggal 9 Juli 2025.
- [18] A. Trianni, E. Cagno, and D. Accordini, "A review of Energy Efficiency Measures Within Electric Motors Systems," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 3346–3351, 2019.
- [19] J.R. Gómez, V. Sousa, J.J.C. Eras, A.S. Gutiérrez, P.R. Viego, E.C. Quispe, and G. León, "Assessment criteria of the feasibility of replacement standard efficiency electric motors with high-efficiency motors," *Energy*, vol. 239, part A, 121877, 2022.

This Page Intentionally Left Blank