

STUDI PELUANG EFISIENSI KONSUMSI ENERGI LISTRIK DI PT. SAI APPAREL SEMARANG

Ahmad Taufik Yunanto^{*)}, Jaka Windarta, dan Susatyo Handoko

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}e-mail: ataufiky@gmail.com

Abstrak

Ketahanan energi nasional memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung pembangunan nasional yang berkelanjutan. Akan tetapi yang sering menjadi permasalahan adalah laju ketersediaan energi yang tidak seimbang dengan laju kebutuhan energi, maka dari itu perlu dilakukan efisiensi konsumsi energi pada sisi pemanfaat. Sektor industri menjadi konsumen energi listrik terbesar di Indonesia. Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisis potensi efisiensi energi dengan mengangkat studi kasus pada salah satu industri garmen di kota Semarang, yaitu PT. SAI Apparel. Analisis efisiensi energi akan didasarkan pada data konsumsi energi dan produksi selama tahun 2016, serta evaluasi data pengukuran kualitas daya listrik. Berdasarkan hasil analisis kualitas daya listrik PT. SAI Apparel diketahui beberapa besaran kualitas daya listrik PT. SAI Apparel memiliki nilai yang tidak sesuai dengan standar dan berisiko meningkatkan rugi daya. Melihat kondisi tersebut didapatkan tiga rekomendasi penghematan energi yang dapat diimplementasikan di PT. SAI Apparel, yaitu penyeimbangan beban fasa RST untuk mereduksi ketidakseimbangan arus dan ketidakseimbangan tegangan, penggantian lampu TL dengan lampu LED akan menghasilkan penghematan energi sebesar 449.687kWh/tahun, penggantian mesin jahit motor induksi dengan motor servo akan menghasilkan penghematan energi sebesar 616.223kWh/tahun, dan perbaikan faktor daya akan menghasilkan penghematan daya sebesar 5.774,5kWh/tahun.

Kata kunci: Konservasi energi, Efisiensi energi

Abstract

National energy stability has a very important role in support of the national development sustainable. However, the problem is often the rate of energy availability not balanced with the rate of energy needs, therefore it is necessary to do the efficiency of energy consumption on the user side. The industrial sector becomes the largest energy consumer in Indonesia. In this study author will conduct analysis energy efficiency potential by raising a case of study on one of the garment industry in Semarang, namely PT. SAI Apparel. The energy efficiency will be based on production and energy consumption data during 2016, and evaluate the measurement of the electrical power quality. Based on the analysis of electrical power quality of PT. SAI Apparel is known some quantity of power quality of PT. SAI Apparel has values that are not in accordance with the standards and risk increase the loss of power. Seeing these conditions obtained three energy saving recommendations that can be implemented at PT. SAI Apparel, that is RST phase load balancing to reduce voltage and current imbalance, replacement of TL lamp by using LED lamp will produce energy saving 449.687kWh/year, replacement sewing machine induction motor with servo motor will produce energy saving 616.223kWh/ year, and improvement of the power factor will produce energy savings 5.774,5kWh/year.

Keywords: Energy Conservation, Energy Efficiency

1. Pendahuluan

Ketahanan energi memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung pembangunan nasional yang berkelanjutan. Akan tetapi yang sering menjadi permasalahan adalah laju ketersediaan energi yang tidak seimbang dengan laju kebutuhan energi. Maka dari itu untuk mempertahankan ketahanan energi nasional selain giat melakukan pembangunan serta diversifikasi di sisi penyediaan sumber energi, upaya konservasi energi di sisi

pemanfaatan untuk menekan laju penggunaan energi harus dilakukan.

Efisiensi energi atau penggunaan energi yang efisien bertujuan untuk mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk atau layanan[1]. Pemerintah dalam PP No 70 Tahun 2009 telah mengatur bahwa pengguna sumber energi dan pengguna energi yang menggunakan sumber energi dan/ atau energi lebih dari 6.000 TOE (Tonne Oil Equivalent) dalam satu tahun wajib melakukan konservasi energi melalui

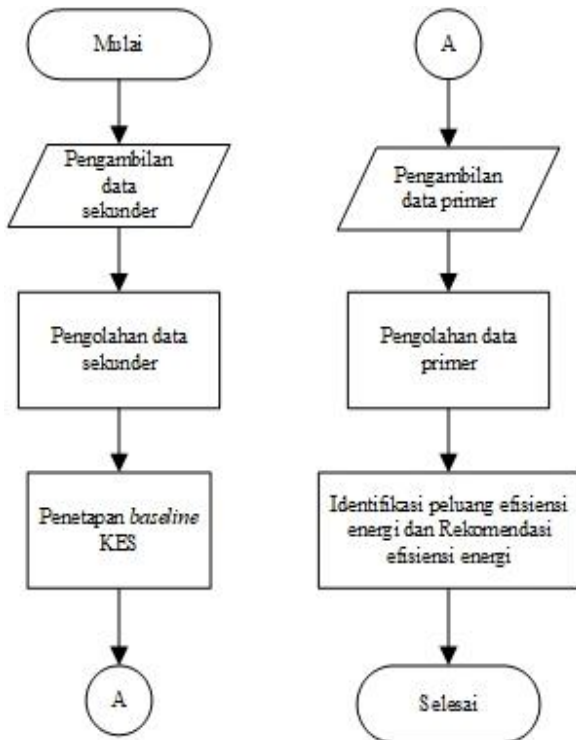
manajemen energi, selain itu untuk pengguna sumber energi dan/ atau energi di bawah 6.000 TOE (*Tonne Oil Equivalent*) per tahun wajib menggunakan energi secara hemat dan efisien[2].

Pada penelitian ini penulis mengangkat studi kasus pada salah satu industri garmen di kota Semarang, yaitu PT. SAI Apparel. Konsumsi energi total pada PT. SAI Apparel selama tahun 2016 mencapai 4.815 TOE (tonne of oil equivalent). Karena konsumsi energi PT. SAI Apparel selama tahun 2016 kurang dari 6.000 TOE (*tonne of oil equivalent*) PT. SAI Apparel belum memiliki kewajiban untuk melakukan konservasi energi melalui manajemen energi, akan tetapi PT. SAI Apparel tetap memiliki kewajiban untuk mengkonsumsi energi secara hemat dan efisien. Dari data sampling Automatic Meter Reading milik PT. SAI Apparel, selama bulan juli tercatat setiap harinya terdapat nilai faktor daya di bawah 0,85. Selain itu dari data tagihan rekening listrik PT. PLN (Persero), PT. SAI Apparel terkena penalti kVARH pada bulan november 2016 hingga januari 2017[3]. Masih terdapat peluang pemborosan energi yang tidak disadari oleh pihak perusahaan, maka dari itu dalam penelitian ini penulis akan melakukan identifikasi peluang efisiensi energi listrik yang dapat diimplementasikan di PT. SAI Apparel

2. Metode

2.1. Metode Penelitian

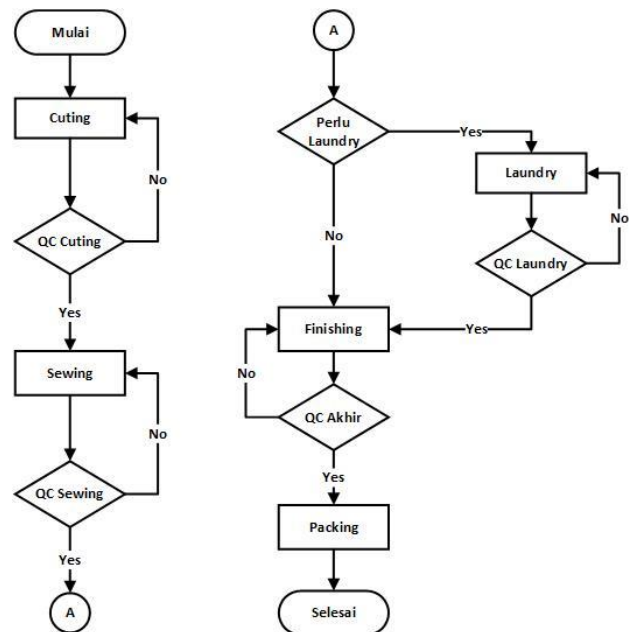
Pada Gambar 1 dapat dilihat langkah-langkah metode penelitian dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

2.2. Gambaran Umum Objek Penelitian

PT. SAI Apparel adalah sebuah perusahaan garmen yang berdiri sejak tahun 1998. Beralamatkan di Jl. Brigjend Sudiarto km. 11 Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. Dalam kegiatan produksinya PT. SAI Apparel menggunakan tiga jenis sumber energi yaitu energi listrik sebesar 2.770 kVA sebagai sumber energi bagi mesin-mesin produksi, energi batu bara sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan *steam*, dan yang terakhir adalah energi solar sebagai bahan bakar *genset* apabila kondisi listrik padam. Proses produksi yang dilakukan di PT. SAI Apparel ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Produksi

2.3. Data Penelitian

Data penelitian terdiri dari data sekunder dan data primer. Data sekunder antara lain berupa data historis konsumsi energi, jumlah produksi selama tahun 2016, dan data *Automatic Meter Reading* PT. SAI Apparel. Selain data sekunder terdapat juga data primer berupa data hasil pengukuran kualitas daya listrik di PT. SAI Apparel. Distribusi tenaga listrik di PT. SAI Apparel menggunakan empat buah transformator distribusi. Pengambilan data primer dilakukan pada ke-4 substation tersebut. Data primer yang diambil antara lain sebagai berikut:

- Data arus dan tegangan masing-masing fasa
- Distorsi harmonik total arus dan tegangan
- Faktor daya
- Beban masing-masing substation

2.4. Alat Ukur

Dalam pengambilan data penulis menggunakan *Power Quality Analyzer* untuk melakukan *record* data di sisi LVMDP dan MDP. Pengukuran di MDP dan beban dilakukan menggunakan *Clamp Hi Tester*. Dalam kondisi pengukuran tidak dapat menggunakan kedua alat tadi, pengukuran arus dan tegangan dilakukan menggunakan tang ampere dan multimeter digital.



Gambar 3. Clamp Hi Tester Hioki



Gambar 4. Power Quality Analyzer

Untuk menjamin keselamatan, selama pengambilan data penulis selalu menggunakan Alat Pelindung Diri.

2.5. Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada beberapa tempat, dengan prosedur sebagai berikut:

1. LVMDP, pengambilan data dilakukan selama satu jam menggunakan PQA meter. Data yang diambil dengan PQA meter adalah data tegangan dan arus masing-masing fasa, DHT arus dan tegangan. Selain itu dilakukan juga pengukuran menggunakan *clamp hi tester* selama lima menit dengan durasi pengukuran dua belas jam dan jeda pengambilan data setiap satu jam. Data yang diambil adalah data beban. Selain itu dilakukan pembacaan nilai faktor daya pada cosphi meter digital panel LVMDP.

2. MDP, pengambilan data dilakukan selama satu jam menggunakan PQA meter karena arus pada beberapa LVMDP melebihi kemampuan alat ukur (1.000A). Data yang di ambil adalah data tegangan dan arus masing-masing fasa, DHT arus dan tegangan. Selain itu dilakukan juga pengukuran menggunakan *clamp hi tester* selama lima menit dengan durasi pengukuran dua belas jam dan jeda pengambilan data setiap satu jam. Data yang diambil adalah data beban.
3. SDP, dilakukan pengukuran beban menggunakan *clamp hi tester*. Selain pengukuran beban pada beberapa SDP dilakukan sampling pengambilan data tegangan.
4. Beban, pengukuran disisi beban menggunakan alat ukur *clamp hi tester* untuk mengetahui konsumsi daya aktual beban.

2.6. Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh kemudian diolah untuk kemudian dianalisis. Data konsumsi energi dan jumlah produksi PT. SAI Apparel selama tahun 2016 digunakan untuk mencari bauran energi, profil beban, dan konsumsi energi spesifik PT. SAI Apparel selama tahun 2016. Data primer yang diperoleh dari pengukuran diolah untuk mencari:

- Pengguna energi spesifik (PES)
- Faktor pembebanan dan efisiensi trafo
- Ketidakseimbangan arus dan tegangan
- DHT arus dan tegangan
- Faktor daya masing-masing substation
- Susut tegangan

Hasil pengolahan data tersebut diatas kemudian dianalisis untuk mengetahui potensi pemborosan energi yang dihasilkan, dan mengidentifikasi peluang efisiensi energi yang dapat diimplementasikan.

2.7. Identifikasi Peluang Hemat Energi dan Rekomendasi Efisiensi Energi

Hasil pengolahan data dianalisis berdasarkan nilai standar efisiensi yang berlaku untuk data tersebut. Semua peralatan yang terhubung dengan sistem distribusi harus memenuhi standar yang sudah diatur dalam SNI. Untuk standar peralatan yang belum diatur dalam SNI, dapat mengacu pada standar internasional seperti ANSI, IEEE, NEC, NEMA, IEC atau mengacu pada standar yang ditetapkan oleh PLN (SPLN)[3].

Nilai data yang melebihi nilai standar, atau terindikasi akan menyebabkan pemborosan dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai pemborosan energi yang dihasilkan. Setelah diketahui besar pemborosan daya yang dihasilkan, berikan rekomendasi untuk menghilangkan penyebab pemborosan energi tersebut disertai dengan perhitungan penghematan energi yang dihasilkan. Peralatan pemanfaat energi listrik juga dianalisa berdasarkan besar konsumsi

daya, dan dibandingkan dengan peralatan substitusi yang memiliki fungsi sama tetapi tingkat efisiensi konsumsi energi lebih tinggi.

Setelah penyebab pemborosan energi diketahui, penulis akan memberikan rekomendasi efisiensi energi berdasarkan masalah yang terjadi dan potensi efisiensi energi listrik yang ada.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Bauran Energi PT. SAI Apparel

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disusun Tabel 1 bauran energi PT. SAI Apparel selama tahun 2016.

Tabel 1. Bauran Energi PT. SAI Apparel 2016

Sumber Energi	Satuan (TOE)	Presentase
Listrik	650	13%
Batubara	4.004	83%
Solar	161	3%
Total	4.815	100%

Berdasarkan Tabel 1 diketahui selama tahun 2016 konsumsi energi total yang digunakan oleh PT. SAI Apparel sebesar 4.815 TOE. Sumber energi paling besar yang digunakan adalah energi batubara, yaitu sebesar 4.004 TOE (83%), energi listrik sebesar 650 TOE (13%), dan yang paling kecil adalah energi solar, yaitu sebesar 161 TOE (3%).

3.2. Konsumsi Energi Spesifik

Energi listrik yang digunakan oleh PT. SAI Apparel selama proses produksi terdiri dari energi listrik dari sumber PLN, dan dari genset. Maka dari itu konsumsi solar yang digunakan oleh genset harus dikonversikan menjadi kWh yang dihasilkan oleh genset. Genset akan membangkitkan daya sebesar kebutuhan beban dari sistem, dari data AMR diketahui konsumsi daya semu rata-rata PT. SAI Apparel selama jam kerja sebesar 1.946kVA dengan faktor daya 0,87. Perhitungan prakiraan energi listrik yang dibangkitkan oleh genset menggunakan perhitungan sebagai berikut[4].

$$Q = k \cdot S_{AVG} \cdot t \quad (1)$$

Diketahui:

$$k = 0,21$$

$$S_{AVG} = 1.946kVA$$

$$T = 1 \text{ jam}$$

$$Q = 0,21 \cdot 1.946 \cdot 1$$

$$Q = 409 \text{ liter/jam}$$

Setelah diketahui konsumsi solar setiap jam nya, dengan membagi konsumsi solar per bulan dengan konsumsi solar per jam akan diperoleh waktu operasi genset setiap

bulannya. Berikut perhitungan menggunakan contoh data bulan januari 2016.

$$t_{\text{januari}} = \frac{Q_{\text{januari}}}{Q} \quad (2)$$

$$= \frac{15.157}{409}$$

$$= 37,09 \text{ jam}$$

Energi listrik yang dibangkitkan oleh genset diperoleh dengan mengalikan daya rata-rata (Watt) yang dibangkitkan genset dengan waktu operasi genset.

$$kWh = P_{\text{avg}} \cdot t_{\text{januari}} \quad (3)$$

$$= 1.692 \times 37,09$$

$$= 62.754 \text{ kWh}$$

Setelah diketahui besar kWh yang dibangkitkan genset, diketahui energi listrik total setiap bulannya. Dengan membagi konsumsi energi listrik total dengan jumlah produksi setiap bulan, diperoleh Tabel 2 KES PT. SAI Apparel sebagai berikut.

Tabel 2. KES PT. SAI Apparel 2016

Bulan	Energi Listrik Total (kWh)	Kapasitas Produksi (Potong)	KES (kWh/Potong)
Januari	638.994	1.487.395	0,43
Februari	722.895	1.600.737	0,45
Maret	664.148	1.400.419	0,47
April	605.165	1.256.763	0,48
Mei	759.372	1.208.248	0,63
Juni	760.548	1.186.215	0,64
Juli	709.720	662.145	1,07
Agustus	522.257	1.108.317	0,47
September	663.580	1.020.903	0,65
Oktober	682.828	1.061.814	0,64
November	737.276	1.393.442	0,53
Desember	842.979	1.387.159	0,61

Berdasarkan analisa Tabel 2 diketahui konsumsi energi spesifik PT. SAI Apparel selama tahun 2016 berkisar 0,43-1,07 kWh/ potong.

3.3. Profil Beban PT. SAI Apparel

Berdasarkan data AMR bulan Mei 2017 diketahui bahwa konsumsi daya semu maksimal sebesar 2.534kVA. Untuk konsumsi daya semu maksimum memiliki nilai rata-rata sebesar 2.413kVA. PT. SAI Apparel berlangganan daya listrik ke PLN sebesar 2.770kVA, apabila ditinjau dari konsumsi daya semu maksimum masih terdapat cadangan kapasitas daya sebesar 236kVA (9%).

3.4. Pengguna Energi Signifikan (PES)

Konsumsi energi listrik total PT. SAI Apparel selama tahun 2016 adalah 8.309.763kWh. Dengan pengukuran daya aktual pada beban didapatkan persentase konsumsi

energi beban berdasarkan penggolongan beban PES dan non PES seperti ditampilkan pada Tabel 3 sebagai berikut

Tabel 3. Pengguna Energi Signifikan PT. SAI Apparel

Beban	Konsumsi Energi (kWh)	Persentase
Pendingin Ruangan	531.700	6%
Kompresor Udara	817.414	10%
Pencahayaan	1.005.309	12%
Motor	4.302.841	52%
Total PES	6.657.264	80%
Total Non PES	1.652.498	20%

Beban PES didominasi oleh beban motor, yaitu sebesar 80%, dilanjutkan beban pencahayaan 12%, beban kompresor udara 10%, dan beban pendingin ruangan 6% dari konsumsi energi listrik total selama tahun 2016. Selain beban PES terdapat beban non PES sebesar 20% dari konsumsi energi listrik total tahun 2016.

3.5. Efisiensi dan Faktor Pembebanan Transformator

Efisiensi pada trafo dipengaruhi oleh nilai rugi besi dan rugi belitan. Rugi belitan pada trafo dipengaruhi oleh besar arus beban yang mengalir, sedangkan rugi besi nilainya tetap. Berikut adalah contoh perhitungan efisiensi trafo substation 1 pada jam 08.00. Diketahui kapasitas trafo 1.600kVA; Rugi besi 2.200 Watt; dan Rugi belitan 19.000 Watt.

Tabel 4. Data pengukuran substation 1

Daya (Watt)	Arus (A)	Tegangan (V)	Cos θ
611.352	1.108	362	0,88

Menghitung arus beban penuh

$$I_{full\ load} = \frac{S}{1,73 \cdot V} = \frac{1.600}{1,73 \times 362} = 2.552\ A$$

Rugi belitan aktual[5]

$$P'_{cu} = (I_{load} / I_{full\ load})^2 \times P_{cu} = (1.108 / 2.552)^2 \times 19.000 = 3.582\ \text{Watt} \quad (4)$$

Selanjutnya hitung efisiensi trafo, sebagai berikut

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\Sigma}} \times 100\% = \frac{611.352}{611.352 + 3.582 + 2.200} \times 100\% = 99,06\% \quad (5)$$

Dengan cara yang sama diketahui efisiensi seluruh trafo yang dimiliki PT. SAI Apparel memiliki rata-rata diatas 98% pada variasi pembebanan 5,44% hingga 54,37%. Nilai ini sudah sesuai dengan nilai rugi daya trafo distribusi pada SPLN D3.002-1;2007 dan SPLN 50 1997[6][7].

3.6. Ketidakseimbangan Tegangan

Berikut adalah contoh perhitungan untuk ketidakseimbangan tegangan MDP Hall A pada jam 12.55.

Tabel 5. Data tegangan MDP Hall A jam 12.55

Jam	Tegangan (V)			Rata-rata
	R-N	S-N	T-N	
12.55.00	214,3	217,4	218,3	216,67

$$\% V_{unbalance} = \frac{\text{deviasi maksimum}}{\text{Tegangan rata-rata}} \times 100\% = \frac{2,37}{216,67} \times 100\% = 1,09\% \quad (6)$$

Dengan cara yang sama diketahui nilai ketidakseimbangan tegangan rata-rata pada MDP Hall A, B, dan C tidak sesuai dengan standar NEMA MG 1, yaitu sebesar 1%[8].

3.7. Ketidakseimbangan Arus

Berikut adalah contoh perhitungan untuk ketidakseimbangan tegangan MDP Hall A pada jam 12.55

Tabel 6. Data arus MDP Hall A jam 12.55

Jam	Arus (A)			Rata-rata
	R	S	T	
12.55.00	456,9	430,7	401,4	429,67

$$\% I_{unbalance} = \frac{\text{deviasi maksimum}}{\text{Arus rata-rata}} \times 100\% = \frac{28,27}{429,67} \times 100\% = 6,58\% \quad (7)$$

Dengan cara yang sama diketahui nilai ketidakseimbangan arus rata-rata pada MDP Hall B dan C tidak sesuai dengan standar NEMA MG 1, yaitu sebesar 10%[8].

3.8. Faktor Daya

PT. SAI Apparel tercatat beberapa kali terkena penalti kVARH, yaitu pada bulan November 2016 hingga Januari 2017. Kondisi ini mengidentifikasi bahwa nilai faktor daya rata-rata PT. SAI Apparel pada bulan tersebut dibawah 0,85. Berdasarkan pengamatan data AMR tanggal 10 hingga 16 Juli 2016, diketahui nilai faktor daya rata-rata PT. SAI Apparel 0,84. Nilai ini berada sedikit dibawah batas kVARH yaitu 0,85[9].

Dalam pengamatan faktor daya pada masing-masing substation diketahui faktor daya rata-rata masing-masing substation sebagai berikut

Tabel 7. Faktor daya rata-rata substation

Substation				
1	2	3	4	
0,85	0,86	0,83	0,98	

Berdasarkan Tabel 7 diketahui nilai faktor daya paling rendah terdapat pada substation 3, yaitu 0,83. Faktor daya rata-rata substation 1 dan 2 berkisar 0,85. Faktor daya paling bagus terdapat pada substation 4, yaitu 0,98. Kondisi ini diakibatkan oleh kondisi kapasitor bank yang berfungsi hanya pada substation 4.

3.9. Susut Tegangan

Karena jumlah SDP yang terlalu banyak, nilai drop tegangan diukur antara tagngan di sisi MDP dengan sample SDP terjauh, dan antara SDP dengan titik beban terjauh. Berikut adalah contoh perhitungan susut tegangan Hall A pada jam 14.30.

Tabel 8. Pengukuran tegangan pada MDP dan SDP

Hall	Fasa	Terminal Ukur			Susut Tegangan
		MDP	SDP		
A	R	372	369		0,81%
	S	376	374		0,53%
	T	373	371		0,54%

Susut tegangan fasa R

$$\begin{aligned} \% \text{ Drop Voltage} &= \frac{\Delta V}{V_t} \times 100\% \\ &= \frac{369}{372} \times 100\% \\ &= 0,81\% \end{aligned} \quad (8)$$

Susut tegangan fasa S

$$\begin{aligned} \% \text{ Drop Voltage} &= \frac{\Delta V}{V_t} \times 100\% \\ &= \frac{374}{376} \times 100\% \\ &= 0,53\% \end{aligned}$$

Susut tegangan fasa T

$$\begin{aligned} \% \text{ Drop Voltage} &= \frac{\Delta V}{V_t} \times 100\% \\ &= \frac{371}{373} \times 100\% \\ &= 0,54\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai susut tegangan pada seluruh substation dari MDP hingga ke beban. Berdasarkan data perhitungan diketahui bahwa persen susut tegangan di PT. SAI Apparel tidak ada yang melebihi nilai standar pada PUIL 2000.

3.10. DHT Tegangan dan DHT Arus

Nilai DHT tegangan di PT. SAI Apparel berdasarkan hasil pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rata-rata DHT Tegangan PT. SAI Apparel

Terminal Ukur	THD v (%)			Standar (%)
	R-N	S-N	T-N	
MDP Hall A	2,30	2,11	1,97	5
MDP Hall B	2,18	1,98	1,81	5
MDP Hall C	2,06	1,60	1,57	5
MDP Polybag & Karton	2,00	1,56	1,43	5
LVMDP Substation 3	1,34	1,40	1,39	5
LVMDP Substation 4	2,24	2,23	2,52	5

Berdasarkan Tabel 9 nilai DHT tegangan di seluruh substation masih memenuhi nilai standar SPLN D5.004-1:2012. Selanjutnya nilai DHT arus akan ditampilkan pada Tabel 10

Tabel 10. Rata-rata DHT Arus PT. SAI Apparel

Terminal Ukur	I _{sc} / I _L	THD i (%)			Standar (%)
		R-N	S-N	T-N	
MDP Hall A	94,11	6,33	6,59	8,14	12
MDP Hall B	83,20	6,40	6,65	8,17	12
MDP Hall C	58,68	5,30	5,17	4,42	12
MDP Polybag & Karton	260,3	9,28	11,2	12,2	15
LVMDP Substation 3	58,70	9,24	8,26	8,85	12
LVMDP Substation 4	56,57	8,10	8,26	9,13	12

Nilai THD arus PT. SAI Apparel masih memenuhi nilai standar pada SPLN D5.004-1:2012, yaitu sesuai tercantum di Tabel 10.

3.11. Peluang Efisiensi Energi

Berdasarkan analisis dari data yang telah diolah didapatkan beberapa potensi penghematan energi, yaitu:

1. Penyeimbangan beban masing-masing fasa untuk mereduksi ketidakseimbangan tegangan dan ketidakseimbangan arus
2. Penggunaan peralatan hemat energi
3. Perbaikan faktor daya dengan penambahan kapasitas kapasitor bank pada substation 1, 2 dan 3

3.12. Penyeimbangan Beban Pada Fasa R, S, dan T

Ketidakseimbangan pembebanan antara fasa R,S, dan T mengakibatkan tingginya ketidakseimbangan arus dan tegangan pada sistem tenaga listrik di PT. SAI Apparel. Ketidakseimbangan arus mengakibatkan timbulnya arus pada penghantar netral, besar arus yang timbul dihitung sebagai berikut dengan contoh data arus MDP Hall A pada jam 12.55.

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Sudut fasa } I_R &= 30,78 \\ \text{Sudut fasa } I_S &= 151,32 \\ \text{Sudut fasa } I_T &= 268,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_N &= I_R + I_S + I_T \\ &= 456,9 \angle 30,8 + 430,7 \angle 151,3 + 401,4 \angle 268,8 \\ &= 39,7A \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh besar arus netral pada LVMDP dan MDP PT. SAI Apparel pada Tabel 10

Tabel 11 Tabel Perhitungan Arus netral

Terminal Ukur	Kondisi	Unb Arus	Arus Netral (A)
MDP Hall A	Maksimum	14,94%	101,72
	Minimum	3,24%	36,06
	Rata-rata	8,87%	64,56
MDP Hall B	Maksimum	17,12%	94,65
	Minimum	7,37%	12,12
	Rata-rata	12,23%	52,93
MDP Hall C	Maksimum	19,63%	207,44
	Minimum	9,73%	133,37
	Rata-rata	14,21%	162,94
MDP Polybag & Karton	Maksimum	16,81%	37,54
	Minimum	2,92%	12,66
	Rata-rata	9,00%	19,63
LVMDP Substation 3	Maksimum	8,75%	57,85
	Minimum	4,19%	50,05
	Rata-rata	6,84%	55,33
LVMDP Substation 4	Maksimum	12,90%	131,87
	Minimum	2,98%	21,52
	Rata-rata	7,98%	74,97

Arus netral ini akan menambah rugi daya I²R sepanjang penghantar netral. Arus netral dapat diminimalisir dengan penyeimbangan beban antar fasa.

3.13. Penggunaan Peralatan Hemat Energi

Peralatan hemat energi yang direkomendasikan dalam penelitian ini adalah dengan penggantian mesin jahit motor induksi dengan motor servo, dan penggantian lampu TL Fluorescent 36 Watt dengan lampu LED 16 Watt. Hasil pengukuran daya aktual pada mesin jahit dengan motor induksi dan motor servo ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12 Hasil pengukuran daya aktual motor induksi dan servo

Tipe	Kondisi	Daya (kW)		Faktor Daya	
		Induksi	Servo	Induksi	Servo
SNLS	Dibebani	0,391	0,127	0,80	0,56
	Standby	0,090	0,019	0,30	0,46
DNLS	Dibebani	0,372	0,109	0,84	0,67
	Standby	0,100	0,013	0,33	0,65
Overlock	Dibebani	0,274	0,264	0,84	0,64
	Standby	0,068	0,011	0,45	0,45

Berdasarkan data pengukuran pada Tabel 12 dapat dicari konsumsi energi total seluruh motor yang sekarang terpasang dan konsumsi energi apabila seluruh mesin jahit menggunakan motor servo. Berikut adalah perhitungan penghematan energi yang dihasilkan.

$$\begin{aligned} \text{Energy Saving} &= kWh \text{ lama} - kWh \text{ baru} \\ &= 1.001.268 - 385.045 \\ &= 616.223 kWh \end{aligned}$$

Dengan penggantian mesin jahit motor induksi dengan motor servo pada tipe motor SNLS, DNLS, dan Overlock didapatkan nilai penghematan energi listrik sebesar 616.223kWh/tahun. Selain penggantian motor dengan yang jenis motor yang lebih hemat energi, rekomendasi serupa dapat diterapkan pada beban lampu. Data pengukuran konsumsi daya pada lampu TL 36 Watt dan LED 16 Watt ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 Hasil Pengukuran daya lampu TL dan LED

Terminal Pengukuran	Jumlah Lampu		Cosθ	Daya Pengukuran (W)
	TL	LED		
Line 2 kiri	28	0	0,96	840
Line 1 kiri	12	16	0,91	630
Line 2 kanan	26	0	0,96	850
Line 1 kanan	12	14	0,91	620

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut diketahui konsumsi daya rata-rata satu TL adalah 31,35 Watt dan untuk lampu LED 16,57 Watt. Dengan penggantian lampu TL menjadi lampu LED akan diperoleh penghematan energi seperti pada perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Penurunan Daya} &= P_{lama} - P_{baru} \\ &= 379,915 - 200,828 \\ &= 179,087kW \end{aligned}$$

Penghematan energi yang dihasilkan merupakan hasil perkalian penurunan daya yang dihasilkan dengan hari operasi dan jam operasi selama satu tahun.

$$\begin{aligned} \text{Penghematan Energi} &= 179,087 \times 279 \times 9 \\ &= 449.687kWh/ \text{ tahun} \end{aligned}$$

Dengan konsumsi energi yang lebih hemat, lampu LED memiliki nilai LUX terukur yang setara dengan lampu TL

36Watt. Hasil pengukuran LUX pada lampu TL dan LED ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14 Hasil pengukuran LUX lampu LED dan TL

Jenis Lampu	Tempat Pengukuran	Jarak Lampu (m)	Kuat Pencahayaan (Lux)
TL 36 Watt	Depan meja	1,5	955
	Samping meja	1,45	861
LED 16 Watt	Depan meja	1,5	936
	Samping meja	1,45	892

3.14 Perbaikan Faktor Daya

Berdasarkan hasil pengukuran diketahui nilai faktor daya pada substation 1,2, dan 3 nilainya berkisar pada 0,85, maka dari itu perlu dilakukan perbaikan faktor daya untuk menghindari pinalty kVARH dan meminimalisir rugi daya yang terjadi. Berikut adalah contoh perhitungan penentuan kapasitas kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya pada substation 1.

Diketahui :

$$\begin{aligned} PF_1 &= 0,88 \\ PF_2 &= 0,98 \\ P_{sub\ 1} &= 627.861\ \text{Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_c &= P [\tan(\cos^{-1} PF_1) - \tan(\cos^{-1} PF_2)] \\ &= 627.861[\tan(\cos^{-1} 0,88) - \tan(\cos^{-1} 0,98)] \\ &= 627.861(\tan 28,36 - \tan 11,48) \\ &= 211,39\ \text{kVAR} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan kapasitas kapasitor bank yang dibutuhkan untuk perbaikan faktor daya pada substation 2 dan 3, ditunjukkan pada Tabel 15 sebagai berikut:

Tabel 15 Hasil perhitungan kebutuhan kapasitas kapasitor bank

Substation	PF ₁	PF ₂	P(kW)	Qc (kVAR)
1	0,88	0,98	627,86	211,39
2	0,86	0,98	282,85	110,39
3	0,83	0,98	466,31	218,67

Kapasitor bank menghasilkan sejumlah kebutuhan daya reaktif untuk beban, maka jumlah daya reaktif yang ditransfer jaringan PLN ke pelanggan akan berkurang. Kondisi ini mengakibatkan besar arus yang mengalir dari titik sambung PLN hingga ke LVMDP tempat pemasangan kapasitor bank akan berkurang, maka rugi penghantar I²R sepanjang saluran tersebut juga akan berkurang. Berikut adalah penurunan rugi daya dan penghematan energi yang dihasilkan dengan perbaikan faktor daya.

$$\begin{aligned} \text{Reduksi rugi daya} &= \text{Rugi daya lama} - \text{Rugi daya baru} \\ &= 22.646,67 - 20.346,99 \\ &= 2.299,68\ \text{Watt} \end{aligned}$$

Penghematan energi yang dihasilkan didapatkan dengan mengalikan reduksi rugi daya, dengan hari operasi, dan jam operasi harian selama satu tahun.

$$\begin{aligned} \text{Penghematan Energi} &= 2.299,68 \times 279 \times 9 \\ &= 5.774,5\ \text{kWh/ tahun} \end{aligned}$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu selama tahun 2016 PT. SAI Apparel menggunakan energi sebesar 4.815 yang memiliki bauran energi batubara (83,15%), listrik (13,5%), dan solar (3,35%). Konsumsi energi listrik PT. SAI Apparel selama tahun 2016 adalah sebesar 8.309.763 kWh yang dikonsumsi oleh beban PES dan beban non PES. Beban PES terdiri dari beban motor (52%), pencahayaan (12%), kompresor (10%) dan pendingin ruangan (6%). Beban non PES terdiri dari beban peralatan kantor, dan beban rumah tangga yang tidak terkait dengan proses produksi, yaitu sebesar 20%. Konsumsi energi spesifik PT. SAI Apparel selama tahun 2016 berada pada kisaran 0,43-1,07 kWh/potong, dengan nilai rata-rata 0,59kWh/potong. Kemudian nilai KES rata-rata tersebut dijadikan sebagai *baseline* untuk evaluasi KES pada tahun-tahun berikutnya. Terdapat beberapa nilai kualitas daya listrik yang berada dibawah nilai standar yang berlaku, yaitu ketidakseimbangan tegangan dan ketidakseimbangan arus. Kondisi ini dapat diminimalisir dengan penyeimbangan beban pada masing-masing fasa. Nilai faktor daya pada substation 1,2 dan 3 juga berkisar pada 0,85, dengan perbaikan faktor daya akan dihasilkan penghematan energi sebesar 5.774,5kWh/tahun. Selain pada kualitas daya listrik terdapat potensi penghematan energi listrik dengan penggunaan peralatan hemat energi. Penggantian peralatan hemat energi tersebut berupa mengganti mesin jahit motor induksi menggunakan motor servo, menghasilkan penghematan energi sebesar 616.223kWh/tahun. Mengganti lampu TL 36 Watt menggunakan lampu LED 16 Watt menghasilkan penghematan energi sebesar 449.687kWh/tahun.

Referensi

- [1] Dewan Energi Nasional, *Ketahanan Energi Indonesia 2015*. Jakarta Selatan, 2015.
- [2] Pemerintah Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia no 70 Tahun 2009" 2009.
- [3] Kementerian ESDM, "Peraturan Menteri ESDM No 04 Tahun 2009" 2009.
- [4] S. Graha, "Power Management PLN-GENSET Pada Bank Indonesia Cabang Banjarmasin," 2014.
- [5] C. W. T. McLyman, *Transformer and Inductor Design Handbook*. 2004.
- [6] S. T. Distribusi, T. F. Tiga, and T. F. Tunggal, "Pt pln (persero) spln d3.002-1: 2007," no. 161, 2007.
- [7] PT. PLN (Persero), "SPLN 50 : 1997 Tentang Spesifikasi Transformator Distribusi," 1997.
- [8] ANSI/NEMA, *MG 1-2003 Motors and Generators*.