



**AUDIT ENERGI LISTRIK DAN BOILER  
PABRIK KELAPA SAWIT KAPASITAS 60 TON/JAM**

***ELECTRIC AND BOILER ENERGY AUDITS PALM OIL FACTORY CAPACITY 60  
TON / HOUR***

**Muhamad Mustangin<sup>1</sup>, Saptiyaji Harnowo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik LPP Yogyakarta, Jl. LPP No. 1A,  
Balapan Yogyakarta

\*Corresponding Email : [mst.lpp.yk@gmail.com](mailto:mst.lpp.yk@gmail.com)

***Abstract***

*Palm Oil Factory Energy consists of steam and electricity. To increase the performance, energy will to be audited. Electrical measurements are carried out at the power house, panels at each station and some electric motors. Measurement in the main panel uses a power quality analyzer that can measure power, power factor, harmonics, unbalance and other electrical parameters. For measurement of mechanical equipment with steam energy such as boilers and turbines using temperature measuring devices with infrared thermal imaging tools FLIR brand. The quality of electric power with a total harmonic of 5.12% and individual harmonics of 2.78%. Voltage and current unbalance are 0.09% and 0.15%. Voltage drop is equal to 3 volts. The use of electricity utilities is 22.81 kW / ton FFB. The factory has cos phi of 0.84 but requires automatic power factor correction. The efficiency of boilers is 64.19% with the biggest losses being dry flue gas of 20.19% and other boiler of 67.82% with the biggest losses being dry flue gas of 16.45%.*

***Keywords:*** Audit energy, Palm oil Mill, Electrical audit, Boiler Audit

**How to Cite :** Mustangin, M & Harnowo, S. (2020). Audit Energi Listrik dan Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 60 Ton/Jam. Jurnal Agro Fabrica Vol.2 (1) : 16-23.

**PENDAHULUAN**

Energi di PKS (Pabrik Kelapa Sawit) terdiri atas energi mekanik, panas/uap dan listrik. Apabila energi yang tersedia cukup, proses produksi akan optimal, sehingga kinerja pabrik secara keseluruhan tidak terganggu dan kinerjanya akan meningkat. Energi tersebut harus dievaluasi dan dimonitor mulai dari aspek

pembangkitan (*steam / electrical generation*), sistem distribusinya (*distribution system*) dan pemakaiannya pada titik akhir masing masing alat yang harus dilayani (*point of use*) termasuk bagaimana konsep recirculation nya (pemanfaatan kembali) seefektif mungkin.

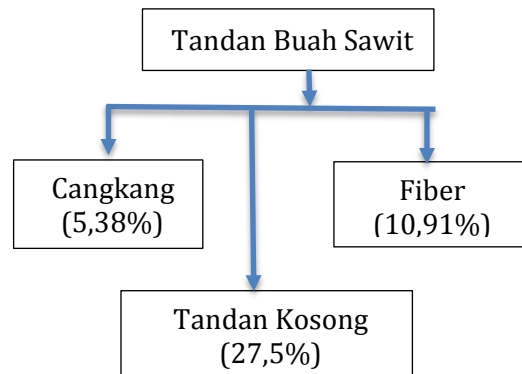
Dengan pemahaman mengenai audit energi, diharapkan dapat mengetahui

kondisi pemakaian energi persatuan waktu (ton/tahun, kwh), usaha apa yang harus dilakukan untuk langkah efisiensi energi (*Energy saving*), dari sisi House Keeping, EMOs (*Energy Management Opportunities*) maupun Retrofitting di lapangan.

Dengan pengukuran dan sistem audit diharapkan kinerja alat – alat proses dan utilitas sesuai dengan neraca massa (kg/jam) akan dapat dipetakan kebutuhan utilitasnya. Pemasok energi panas/uap dari Boiler dan Turbin generator sebagai pembangkit listrik menjadi lebih efisien dan terkendali, dengan pola pengukuran pemakaian energi yang terdistribusi secara kontinyu terecord/tercatat, maka dapat diharapkan tercapainya upaya pengendalian pemakaian energi secara tepat di titik pemakaian baik dari sisi kualitas maupun kuantitasnya per satuan waktu/periode. Penelitian ini dilakukan di Pabrik kelapa sawit di Propinsi Riau dengan kapasitas 60 ton Tandan Buah Sawit (TBS) per jam.

*Material balance* pada proses pengolahan Kelapa Sawit untuk bahan bakar pabrik terdiri atas fiber, cangkang dan tandan kosong. Potensi Pemetaan material balance pada Pabrik kelapa sawit akan menunjukkan seberapa besar energi yang digunakan oleh suatu PKS dalam melakukan pengolahan. Dengan begitu, potensi kerugian energi (loss of energi) di setiap stasiunnya dapat di deteksi dan dapat diambil rekomendasi dan tindak lanjut yang

sesuai. Potensi energi pembangkit tergantung *material balance* terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Material Balance Buah Sawit (sumber PKS Sei Tapung)

Penggunaan energi listrik sebesar 17 kWh/ton TBS dan uap 0,42/ton TBS dengan efisiensi boiler 60% (Kritsana Sommart et al., 2011). Penelitian lain menyebutkan untuk *standard energy consumption* untuk kepala sapti sebesar minimal sebesar 4,01 kWh/kg sampai dengan 6,16 kWh/kg atau diambil nilai 4,84 kWh/kg (Firdaus, A et al., 2016). Penggunaan energi di pengolahan sawit lebih efisien untuk kapasitas pabrik yang lebih tinggi dan memperoleh laba yang tinggi terkait penggunaan limbah untuk penjualan energi (FN Ani et al., 2010).

Kualitas listrik dipengaruhi oleh nilai *harmonic system* ketenagalistrikan. Harmonik disebabkan oleh peralatan berputar seperti motor, trafo, bola lampu dan peralatan *arching* (Ahmed at el., 2013).

## METODE PENELITIAN

Pengukuran listrik dilakukan di *power house*, panel di setiap stasiun dan sebagian motor listrik. Pengukuran di panel utama menggunakan *power quality analyzer* merk Hioki yang dapat mengukur daya, faktor daya, harmonik, unbalance dan parameter listrik lainnya. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan current transformer dan sensor tegangan di titik titik pengukuran untuk 3 fase.

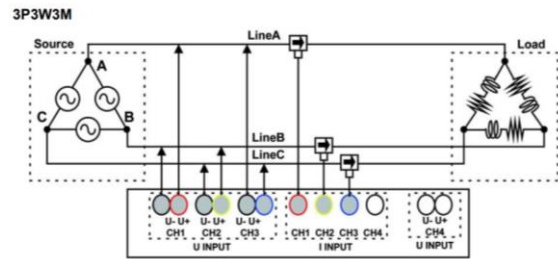
Hasil pengukuran direkam dan dilakukan analisis dengan menggunakan software. Analisis meliputi tegangan dan arus yang tidak seimbang, harmonik, daya aktif, flicker dan frekuensi. Untuk daya motor listrik diukur dalam beberapa jam.

Untuk melakukan pengukuran dilakukan setting 3P3W atau 3 phase 3 kawat seperti dalam gambar 3. Tampilan dan data yang digunakan dapat merekam nilai nilai kelistrikan pabrik.



Gambar 2. Proses pengukuran

Alat ini dapat digunakan untuk melihat posisi phasor atau sudut untuk setiap tegangan seperti dalam Gambar 4.



Gambar 3. Instalasi pengukuran

Berikut rangkaian yang dilakukan dalam pemasangan sensor tegangan, arus dan titik pengambilan data.



Gambar 4. Setting alat ukur

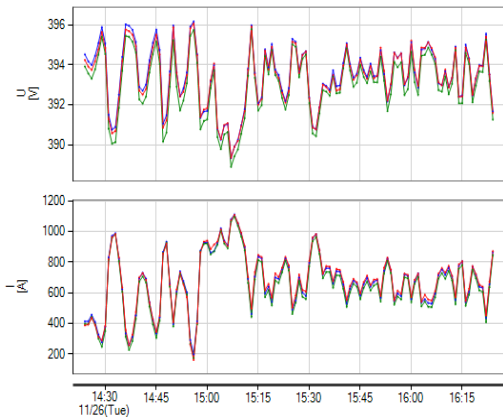
Untuk pengukuran peralatan mechanical dengan energi uap seperti boiler dan turbin menggunakan alat ukur suhu dengan alat infrared thermal imaging merk FLIR. Pengukuran dilakukan sehingga menghasilkan sebuah foto suhu di tempat yang dilakukan audit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kualitas Daya Listrik

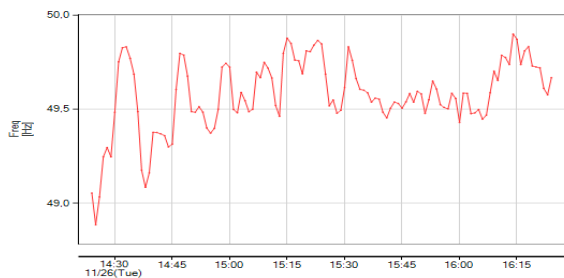
Kualitas daya listrik ditentukan dari kualitas tegangan, keseimbangan tegangan, keseimbangan arus, faktor daya, harmonic dan nilai lossis. Tegangan dan arus perlu dilakukan pengukuran untuk menentukan tingkat efisiensi penggunaan energi listrik di pabrik.

Seperti ditunjukkan Gambar 5, tegangan dan arus sangat berfluktuasi tergantung kondisi beban tetapi fluktuasi yang terjadi harus didasarkan pada standar yang ada.



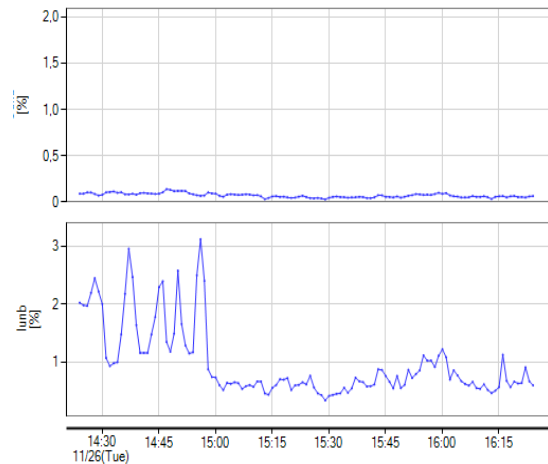
Gambar 5. Tegangan dan arus

Fluktuasi arus dan tegangan, selama pengukuran dilakukan, sangat bervariasi yang salah satunya disebabkan oleh lonjakan beban (motor induksi) yang bervariasi. Sesuai dengan PUIL 2011 (SNI 0225:2011) dan IEC 61000-2-2, standard suplai tegangan adalah sebesar + 3% dari normal suplai (380V+3%). Adapun suplai tegangan selama pengukuran dilakukan sebesar 389 – 396 V dan ini tidak normal karena sudah melebihi standar yang ditetapkan.



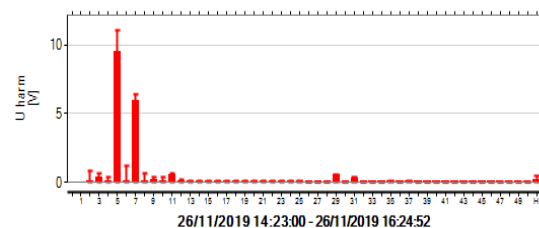
Gambar 6. Frekuensi

Frekuensi yang dihasilkan selama pengukuran dalam range 48,9 – 49,8 Hz dengan nilai rata-rata 49,5 Hz seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Adapun nilai ini tidak melebihi batas standard yang ditetapkan dalam PUIL 2011(SNI 0225-2011) dan IEC 61000-2-2 sebesar 50+1 Hz.



Gambar 7. Ketidakseimbangan Tegangan dan arus

Ketidakesimbangan antar fase rendah mencapai nilai 0,1% dimana nilai ini sangat jauh dari batas maksimal yang ditetapkan dalam IEC 61000-2-2 sebesar 5% seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. Harmonik berkorelasi dengan beban, semakin tinggi beban, semakin tinggi harmoniknya (IEEE-SA Standards Board, 2017).

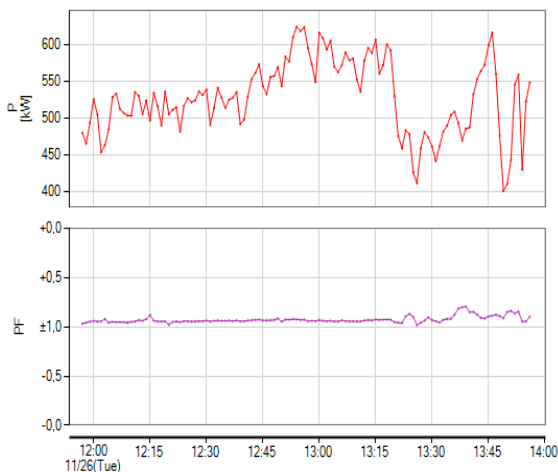


Gambar 8. Harmonik

Berdasarkan Gambar 8, range total distorsi harmonik terhadap frekuensi dasar cukup tinggi (1,6 % - 2,6%) dengan rata-rata total distorsi harmonik sebesar 2,59% merupakan nilai distorsi harmonik tergolong agak tinggi. Adapun standard THD yang ditetapkan dalam PUIL 2011 (SNI 0225-2011) dan IEC 61000-2-2 sebesar 5%.

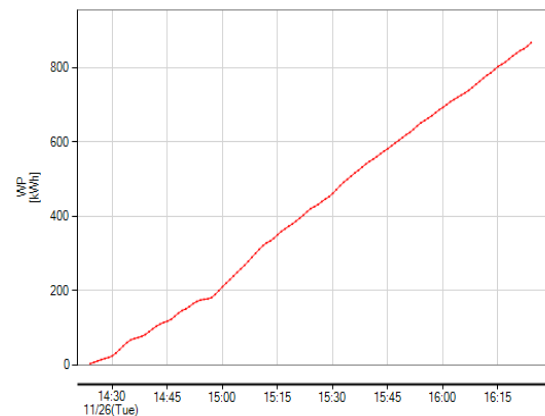
### Daya Operasional

Fluktuasi daya yang terjadi sangat tinggi, disamping itu juga range daya yang dihasilkan juga sangat tinggi Antara 90 - 650 KW seperti ditunjukkan dalam Gambar 9. Hal ini menunjukkan terdapat peralatan yang on dan off selama beroperasi. Faktor daya berfluktuasi dari induktif sebesar 0,6 – 1 walaupun sebagian besar sebesar 0,85. Hal ini menunjukkan pabrik tidak memiliki peralatan *automatic power factor correction*.



Gambar 9. Daya dan factor daya Pengukuran dilakukan mulai pukul 14.30 sampai dengan pukul 16.15 seperti dalam Gambar 10. Alat ini akan mencatat

daya setiap satuan waktu dan penjumlahan daya tersebut sampai waktu pengukuran tercapai. Konsumsi energi (kWh) berbentuk garis linear yang dimana mengindikasikan konsumsi energi listrik cenderung konstan sepanjang waktu pengukuran walaupun di awal pengukuran terdapat sedikit riak gelombang yang menandakan terjadi fluktuasi beban.



Gambar 10. Daya yang digunakan untuk produksi

Pabrik ini memiliki 2 buah turbin generator sehingga dapat dioperasikan 2 turbin maupun 1 turbin. Berikut adalah table penggunaan Total daya sebesar 958 kW di panel utama, sedangkan daya di setiap stasiun kalau dijumlah sebesar 890,1 kW sehingga terdapat losses sebesar 67,9 kW atau 7,09 %. Losses ini dapat terjadi karena losses distribusi, losses di generator, losses mekanis, losses di beban dan lain – lain. Losses ini masih dapat dikurangi dengan beberapa cara, diantaranya menaikkan faktor daya maupun menganalisis beban di motor listrik.

Penggunaan daya listrik ditunjukkan dalam Tabel 1, PKS sebesar 958 kW, dengan TBS olah sebesar 42 TPH maka diperoleh utilitas penggunaan listrik sebesar 22,81 kW/ ton TBS sehingga masih jauh diatas standar pabrik kelapa sawit sebesar 16-17 kWh/ton TBS.

Tabel 1. Daya total dan lossis

Parameter	Daya (kW)
Turbin	958,0
Boiler	223,4
Sterillizer	16,0
Threser	279,9
Press	0,0
Klarifikasi	30,6
Kernel	312,5
WTP	27,6
Domestik	0,0
TOTAL	890,1
Losses	67,9
% Losses Distribusi	7,09%

### Audit Boiler

Boiler dilakukan audit dengan menggunakan alat ukur suhu, data losis yang kemudian dilakukan perhitungan efisiensi dengan metode tidak langsung atau *indirect*. Rata – rata efisiensi indirect method kedua boiler adalah sebesar 66,0%. Jumlah uap terbangkit dapat ditentukan dengan persamaan efisiensi boiler direct method. Dari hasil analisis uap yang dibangkitkan boiler adalah 29,19 ton/jam seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Suhu uap superheat 254 °C sudah standar yakni 250-260 °C. Pada analisis udara boiler terlihat memang boiler 2

mengkonsumsi udara palsu yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada ruang bakar bagian atas mengalami lubang. Dengan kondisi ruang bakar yang vacum, otomatis udara palsu akan masuk menuju ruang bakar dan menurunkan efisiensi boiler karena kalor bahan bakar justru harus memanaskan udara lebih sebelum menciptakan suhu dapur boiler. Gambar 11 terlihat kebocoran pada ruang bakar bagian atas cukup besar.

Tabel 2.1 Hasil Analisis Direct Boiler

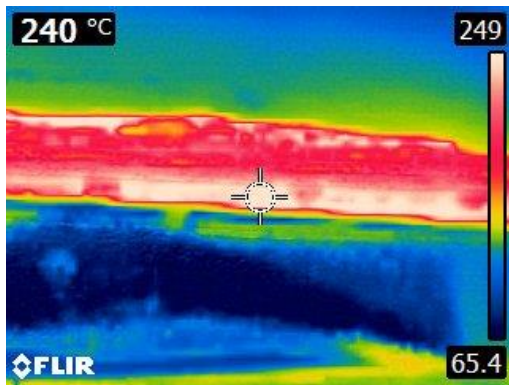
Parameter	Nilai	Satuan
Efficiency Boiler 1	67,82%	
Efficiency Boiler 2	64,19%	
TBS	42,00	Ton/jam
Fiber Terbakar	5,43	Ton/jam
Cangkang Terbakar	2,94	Ton/jam
Kalor Fiber	2.657	kCal/kg
Kalor Cangkang	4.109	kCal/kg
Kalor Tankos	1.242	kCal/kg
Kalor Fiber Total	14.442.028	kCal/jam
Kalor Cangkang Total	12.084.470	kCal/jam
Kalor Input Boiler	26.526.499	kCal/jam
Entalphy Air Input	407	kJ/kg
Entalphy Uap Superheat	2.915	kJ/kg
Delta Entalphy	2.507	kJ/kg
Steam dihasilkan	29.19	kg/jam
Entalphy total uap	85.087.090	kJ/jam
Uap/TBS	0,69	Ton Uap/TBS

*Evaporation ratio* adalah rasio massa uap terbangkit dibanding dengan massa bahan bakar yang dibakar. *Evaporation ratio* menunjukkan jumlah ton uap yang dibangkitkan ketika 1 ton bahan



bakar dibakar pada PKS bahan bakar berupa cangkang dan fiber.

Umumnya *evaporation ratio*, 1 ton cangkang dapat membangkitkan 4,4-4,6 ton uap tergantung dari kadar air cangkang dan kinerja boiler sedangkan 1 ton fiber dapat membangkitkan 2,8-3 ton uap.



Gambar 11. Suhu Duct boiler 2

Untuk mengetahui *evaporation ratio* bahan bakar dapat menggunakan analisis kekekalan energi. Hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Evaporation Ratio*

Evaporation ratio		
Parameter	Value	Unit
Effisiensi Boiler	66,0%	%
Suhu BFWP	97,00	°C
Suhu Uap	254,75	°C
Tekanan Uap	20,00	Bar (a)
Entalpi air	407,89	kJ/kg
Entalpi uap	2.915,31	kJ/kg
Entalpi cangkang	17.178,20	kJ/kg
Entalpi Fiber	11.108,14	kJ/kg
Evaporation ratio Cangkang	4,52	Uap/shell
Evaporation ratio Fiber	2,92	Uap/Fiber

Dari hasil analisis terlihat 1 ton cangkang membangkitkan uap 4,52 ton dan 1 ton

fiber membangkitkan 2,92 ton, cangkang sesuai norma standar sedangkan fiber sudah dalam standar. *Evaporation ratio* cukup tinggi karena suhu umpan boiler sangat tinggi yaitu 97 °C dan suhu uap superheat di angka 254 °C. *Evaporation ratio* dapat meningkat dengan meningkatkan efisiensi boiler dan mengurangi kadar air pada bahan bakar.

### KESIMPULAN

Kualitas daya listrik secara umum cukup baik dengan  $\cos \phi$  0,86 namun dengan harmonik total secara berurut turbin 1 dan 2 adalah 2,95% dan 5,15%, harmonik individual 2,78% dan 5,12% dengan tegangan unbalance dan arus unbalance masing – masing 0,09% dan 0,15% serta 1,67% dan 1,33%. Untuk voltage drop masih dalam standar yaitu sebesar 3 volt.

Penggunaan daya listrik di PKS sebesar 958 kW, dengan TBS olah sebesar 42 ton/jam maka diperoleh utilitas penggunaan listrik sebesar 22,81 kW/ ton TBS sehingga masih jauh diatas standar pabrik kelapa sawit sebesar 16-17 kWh/ton TBS.

Pabrik memiliki  $\cos \phi$  yang stabil sebesar 0,84 sehingga tidak memerlukan upaya untuk meningkatkan  $\cos \phi$  namun memerlukan automatic power factor correction.

Pabrik sawit mengoperasikan 2 boiler pada saat kunjungan lapangan Takuma 1 dan Takuma 2 perhitungan

secara indirect, efisiensi boiler Vickers sebesar 64,19% dengan losses terbesar adalah dry flue gas sebesar 20,19%. dan boiler Takuma N600SA sebesar 67,82% dengan losses terbesar adalah dry flue gas sebesar 16,45%. Efisiensi gabungan dari 2 boiler sama dengan rata-rata dari kedua boiler yaitu 66,00 %. Efisiensi 66,00% masih di bawah efisiensi standar yaitu 70%.

Nilai efisiensi sebesar 36% nilai tersebut masih dibawah standard pabrikan baru turbin 800 kW - 1500 kW adalah 45-55%. Turunnya efisiensi karena umur mesin selain itu karena temperatur uap yang terbangkit mendekati temperatur saturasi sehingga jika temperatur uap terbangkit naik efisiensi turbin akan meningkat. Nilai SSC turbin terhitung 30,18 kg/kwh nilai ini masih di atas stándar yaitu 25-28 kg/kwh.

Evaporation ratio menunjukan 1 ton cangkang membangkitkan uap 4,52 ton dan 1 ton fiber membangkitkan 2,92 ton.

Pabrik menggunakan energi listrik diatas norma. Untuk itu pabrik dapat melakukan perbaikan cos phi dengan memasang *automatic power factor correction* agar stabil di angka 0,95 sehingga efisien dan merubah hubungan motor listrik dari delta ke bintang untuk beban motor listrik dibawah 25% apabil motor dapat dilakukan hubung bintang. Untuk energi uap dilakukan pembenahan system peralatan dan perpipaan yang mengalami kebocoran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, I. and Mir Zayed Shames, MZ. amd Alam,M. 2013. An Overview of Harmonic Sources in Power System. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) Volume: 7 Issue 3 hal 01-03.
- Ani, FN and Nor, NM, 2010, Energy index for palm oil processing in oil palm mills. Int J Quality and Innovation. Vol: 1 No. 2.
- Firdaus, A. dan MS Ma'arif. 2016. Creating The Standard For Specific Energy Consumption At Palm Oil Industry. SINERGI Vol: 20, No. 1, hal 9-13.
- IEEE-SA Standards Board. 2017. IEEE 3002 Standards:Power Systems Analysis: Recommended Practice for Conducting Harmonic Studies and Analysis of Industrial and Commercial Power Systems. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York
- IEEE-SA Standards Board. 2017. IEEE 3001 Standards: Power Systems Design : IEEE Std 3001.2™-2017:Recommended Practice for Evaluating the Electrical Service Requirements of Industrial and Commercial Power Systems. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York.
- Sommart, K. and Suneerat P. 2011. Assessment and Improvement of Energy Utilization in Crude Palm Oil Mill. International Conference on Chemistry and Chemical Process IPCBEE vol:10 IACSIT Press. Singapore.