

## **PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING PROFIL KONSUMSI ENERGI UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI BANGUNAN KOMERSIAL DAN INDUSTRI**

**Edi Leksono**

Kelompok Keahlian Teknik Fisika ITB  
Jl. Ganesa 10 Bandung 40132, Telepon/Fax.: 022-250 9161  
E-mail:edi@tf.itb.ac.id

### **Abstrak**

*Pada makalah ini dipresentasikan pengembangan sistem monitoring profil konsumsi energi yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi bangunan komersial dan industri. Sistem yang dikembangkan terdiri dari alat ukur energi/daya elektrik digital yang dapat dikonfigurasi dalam jaringan menggunakan protokol Modbus. Alat ukur energi yang dikembangkan dapat dipasang pada panel distribusi utama (MDP) dan sekaligus pada beberapa panel sub-meter (SDP). Semua alat ukur energi/daya yang digunakan dikoordinasikan operasinya dengan menggunakan perangkat lunak sebagai fasilitas visualisasi dan Human Machine Interface (HMI) sistem dan sekaligus berfungsi sebagai sistem manajemen energi. Sistem telah berhasil diujicobakan pada bangunan hotel dan sekaligus dapat digunakan untuk memudahkan peningkatan efisiensi konsumsi energi bangunan melalui kemudahan pola operasi kelistrikkannya.*

*Kata Kunci: Efisiensi energi, manajemen energi, Human Machine Interface (HMI)*

### **I. LATAR BELAKANG**

Konsumsi energi elektrik pada bangunan, industri atau fasilitas lainnya dapat diukur berdasarkan besaran KWH ( Kilo Watt Hour ) yang dikonsumsi per bulannya. Besarnya KWH elektrik yang dikonsumsi sangat tergantung dengan banyaknya peralatan elektrik yang digunakan, pola pemakaian energi elektrik serta teknologi efisiensi pada peralatan yang digunakan. Pengukuran KWH elektrik saat ini banyak menggunakan instrumen analog yang biasaya terpasang pada saat awal pemasangan listik oleh PLN dan penagihan biaya bulanan perusahaan tergantung dari total pemakaian yang diukur oleh alat ukur elektrik ini. Dengan teknologi seperti ini perusahaan tidak dapat melakukan analisis optimasi efisiensi penggunaan elektrik yang seharusnya dilakukan karena informasi yang didapat dari alat ukur ini sangat minimal yaitu hanya jumlah kWH yang harus dibayar pada akhir bulan. Sehingga yang hanya dapat dilakukan perusahaan adalah meminimalkan jam pemakaian peralatan elektrik. Penerapan teknologi otomatis sistem pengukur energi dapat menjadi salah satu solusi perusahaan dalam menganalisis secara rinci pola pemakaian elektrik, jumlah kWH yang dikonsumsi pada masing-masing unit peralatan setiap saat dan juga biaya yang harus dikeluarkan. Sehingga dengan teknologi ini perusahaan bisa menentukan strategi yang optimal untuk melakukan efisiensi pemakaian elektrik. Implementasi sistem monitoring energi pada bangunan, industri atau fasilitas lainnya dapat memberikan kemudahan bagi perusahaan dalam menganalisis dan mengefisienkan penggunaan energi.

Pada makalah ini akan dikaji masalah pengembangan sistem monitoring profil konsumsi energi untuk peningkatan efisiensi bangunan komersial dan industri. Sistematika penyajian makalah terdiri dari 6 bagian. Bagian I menguraikan tentang latar belakang masalah, Bagian II menyajikan prinsip pengukuran energi elektrik, Bagian III membahas masalah komponen kelistrikan yang diukur, Bagian IV menguraikan komponen-komponen sistem yang digunakan dalam sistem monitoring profil konsumsi energi, Bab V menyajikan contoh pengukuran profil energi yang telah dilakukan dan Bab VI berisi tentang kesimpulan.

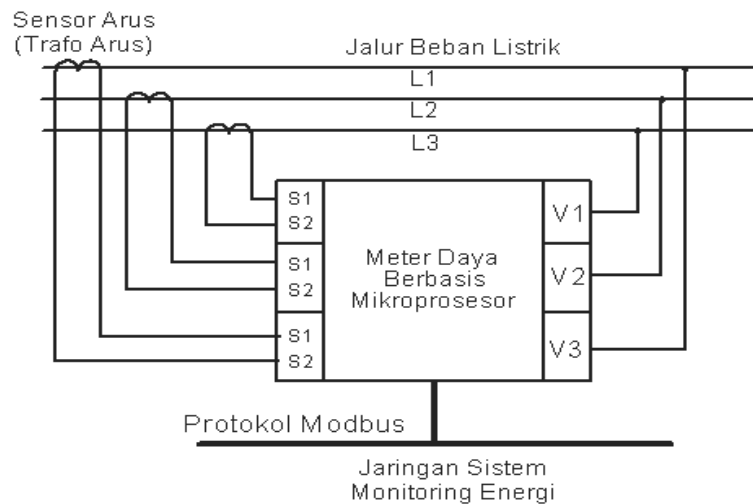
## II. PRINSIP PENGUKURAN ENERGI ELEKTRIK<sup>[4]</sup>

Pengukuran energi elekttrik dilakukan dengan menggunakan sensor arus dan sensor tegangan, seperti ditunjukkan pada Gambar1. Sensor arus elektrik yang digunakan berupa transformator arus (*current transformer*, CT) sedangkan untuk pengukuran tegangan elektrik, titik yang akan diukur tegangannya langsung dihubungkan dengan terminal tegangan masukan. Jika tegangan elektrik yang diukur berada di luar kisaran alat ukur, dapat digunakan transformator tegangan elektrik (*potential transformer*,PT). CT digunakan untuk menurunkan arus elektrik yang diukur agar sesuai dengan kisaran masukan alat ukur arus elektrik yang digunakan. Demikian juga dengan PT, diperlukan jika tegangan elektrik yang diukur diluar kemampuan alat ukur tegangan yang digunakan. Akar rata-rata kuadrat (RMS) merupakan pengukuran dasar dari magnituda sinyal ac (arus bolak balik). Definisi nilai RMS dapat diberikan baik secara praktis maupun secara matematis. Secara praktis, nilai RMS untuk suatu sinyal ac didefinisikan sebagai besarnya sinyal dc (arus searah) yang diperlukan untuk menghasilkan sejumlah ekivalen daya pada beban elektrik. Sedangkan secara matematis, nilai RMS suatu sinyal kontinu  $f(t)$  didefinisikan sebagai Pers. (2.1):

$$f_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} \quad (2.1)$$

Untuk sinyal tercacah (diskrit), perhitungan RMS melibatkan operasi kuadrat, rata-rata dan akar kuadrat seperti dinyatakan oleh Pers.(2.2).

$$f_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f^2[n]} \quad (2.2)$$



**Gambar 1.** Prinsip pengukuran energi elektrik

Tegangan dan arus elektrik sesaat, masing-masing selanjutnya dapat dinyatakan sebagai Pers.(2.3) dan (2.4):

$$v(t) = \sqrt{2} \times v_{rms} \times \sin(\omega t) \quad (2.3)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \times i_{rms} \times \sin(\omega t) \quad (2.4)$$

Dari informasi mengenai tegangan dan arus elektrik ini, sinyal daya elektrik sesaat  $p(t)$  dapat dinyatakan sebagai Pers. (2.5):

$$p(t) = v(t) \times i(t) \\ = i_{rms} \times v_{rms} - i_{rms} \times v_{rms} \times \cos(2\omega t) \quad (2.5)$$

Dengan demikian, daya rata-rata dapat dihitung sebagai Pers.(2.6):

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt = v_{rms} \times i_{rms} \quad (2.6)$$

Daya rata-rata  $P$  juga dikenal sebagai daya aktif atau daya nyata. Perhatikan bahwa daya aktif sama dengan komponen dc dari sinyal daya elektrik sesaat  $p(t)$ , yang juga sama dengan  $i_{rms} \times v_{rms}$ .

Jika daya elektrik sesaat diketahui, maka energi aktif  $E(t)$  dapat dihitung dengan Pers. (2.7):

$$E(t) = \int_0^t p(t) dt = v_{rms} \times i_{rms} \times t \quad (2.7)$$

atau dalam bentuk daya elektrik diskrit, energi aktif dapat dinyatakan sebagai Pers. (2.8):

$$E(t) = \lim_{T \rightarrow 0} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} p(nT) \times T \right\} \quad (2.8)$$

Suatu beban yang mengandung elemen reaktif (induktor atau kapasitor) menyebabkan terjadinya perbedaan fasa antara tegangan ac yang diberikan dengan arus elektrik yang dihasilkan. Daya yang terkait dengan elemen reaktif disebut daya reaktif, dimana satuan yang digunakan adalah VAR. Daya reaktif didefinisikan sebagai perkalian bentuk gelombang tegangan dan arus elektrik jika salah satu dari kedua sinyal ini fasanya digeser sebesar  $90^\circ$ . Daya reaktif rata-rata  $Q$  dapat dihitung dari Pers. (2.9):

$$Q = VI \sin \theta \quad (2.9)$$

dimana  $V, I$  dan  $\theta$  masing-masing adalah amplituda tegangan, arus elektrik dan beda fasa antara tegangan dan arus yang mengalir pada beban. Energi reaktif yang didefinisikan sebagai integral dari daya reaktif selanjutnya dapat dinyatakan sebagai Pers. (2.10):

$$E_R = \int q(t) dt = \lim_{T \rightarrow 0} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} q(nT) \times T \right\} \quad (2.10)$$

Ada dua cara untuk menghitung daya tampak, yakni pendekatan aritmetik atau metoda vektorial. Pendekatan aritmetik menggunakan perkalian nilai RMS tegangan dan nilai RMS arus untuk menghitung daya tampak  $S$ , seperti dilukiskan dengan Pers. (2.11):

$$S = v_{rms} \times i_{rms} \quad (2.11)$$

Metoda vektorial menggunakan akar kuadrat dari jumlah kuadrat daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ , seperti dinyatakan oleh Pers. (2.12):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.12)$$

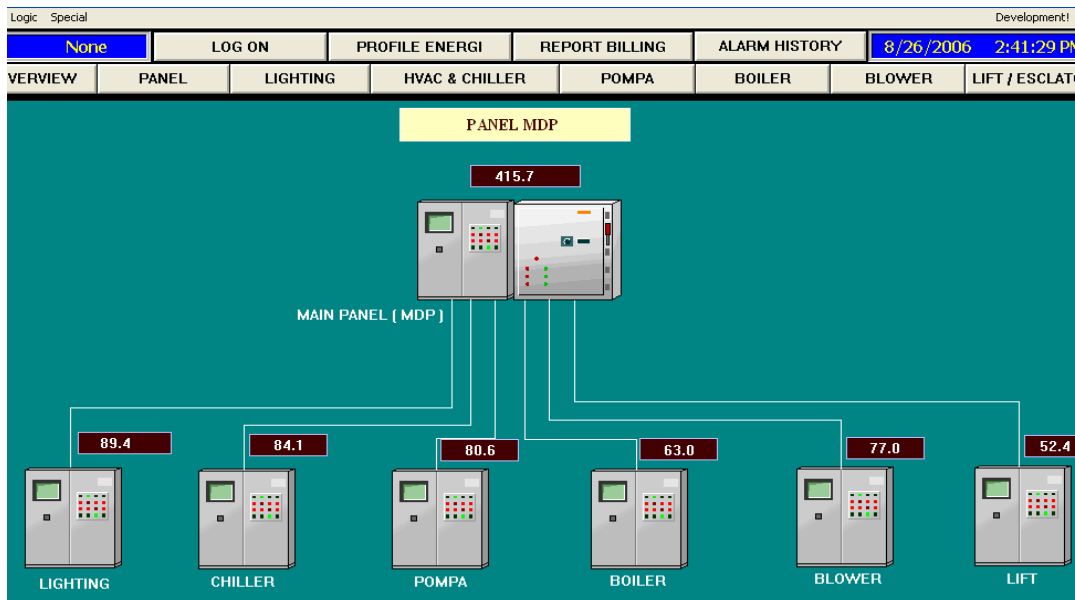
Dari daya tampak  $S$ , selanjutnya dapat dihitung energi tampak  $E_A$  sebagai dinyatakan oleh Pers. (2.13):

$$E_A = \int S(t) dt = \lim_{T \rightarrow 0} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} S(nT) \times T \right\} \quad (2.13)$$

### III. KOMPONEN KELISTRIKAN YANG DIUKUR

Pada bangunan komersial dan industri, umumnya saluran masuk elektrik utama dari suplai luar kemudian dibagi menjadi beberapa cabang yang dapat diklasifikasikan sesuai dengan aplikasinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Masing-masing bagian dikelompokkan dalam satu panel distribusi. Panel untuk suplai utama dari luar sering disebut Panel Distribusi Utama (MDP), sedangkan cabang-cabang di

bawahnya sering disebut Panel Sub Distribusi (SDP) atau Sub Metering. Untuk tujuan monitoring profil konsumsi energi elektrik, alat ukur energi dapat dipasang pada masing-masing MDP maupun SDP. Pada bangunan komersial dan industri yang cukup besar, MDP umumnya sudah dilengkapi dengan Automatic Meter Reading (AMR) dimana data profil energi secara otomatis direkam oleh PLN yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penagihan beban penggunaan energi elektrik tiap bulan ke pelanggannya. Namun karena AMR ini adalah aset PLN, perusahaan terkait tidak bisa melakukan akses langsung ke data AMR sehingga hanya bisa meminta data profil energi ke PLN. Selanjutnya untuk bangunan komersial dan industri, SDP dapat menggambarkan panel sub-distribusi energi elektrik yang digunakan untuk unit pengolahan air, perlampuan, unit chiller, elevator, kelistrikan dapur dan lain sebagainya.



Gambar 2. Visualisasi metering/sub-metering pada bangunan

#### IV. KOMPONEN SISTEM MONITORING PROFIL ENERGI

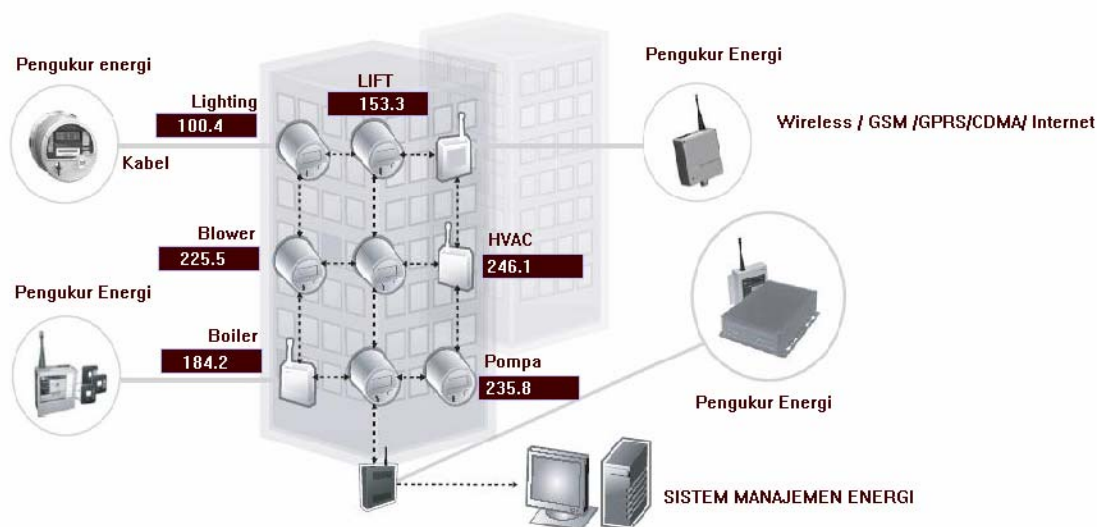
Sistem yang dibangun mempunyai komponen sebagai berikut:

1. Perangkat keras
  - 1.1. Sensor arus (CT)
  - 1.2. Sensor tegangan (PT, jika diperlukan)
  - 1.3. Alat ukur daya elektrik
  - 1.4. Interface komunikasi
  - 1.5. Komputer
2. Perangkat lunak:
  - 2.1. Interface input/output pengukur daya
  - 2.2. Visualisasi dengan *Human Machine Interface* (HMI)
  - 2.3. Database historian
  - 2.4. Sistem manajemen energi

Gambar 3 menunjukkan foto sistem yang telah berhasil dibangun. Contoh tampilan visualisasi sistem monitoring profil energi ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan visualisasi sistem monitoring profil energi, operator bangunan dengan mudah dan cepat dapat memonitor profil penggunaan energi, sehingga kinerja manajemen energi dapat ditingkatkan dengan cara memberi panduan pola operasi peralatan yang digunakan, misalnya *chiller unit*, pompa distribusi air dingin, *Air Handling Unit* (AHU), dan sebagainya.



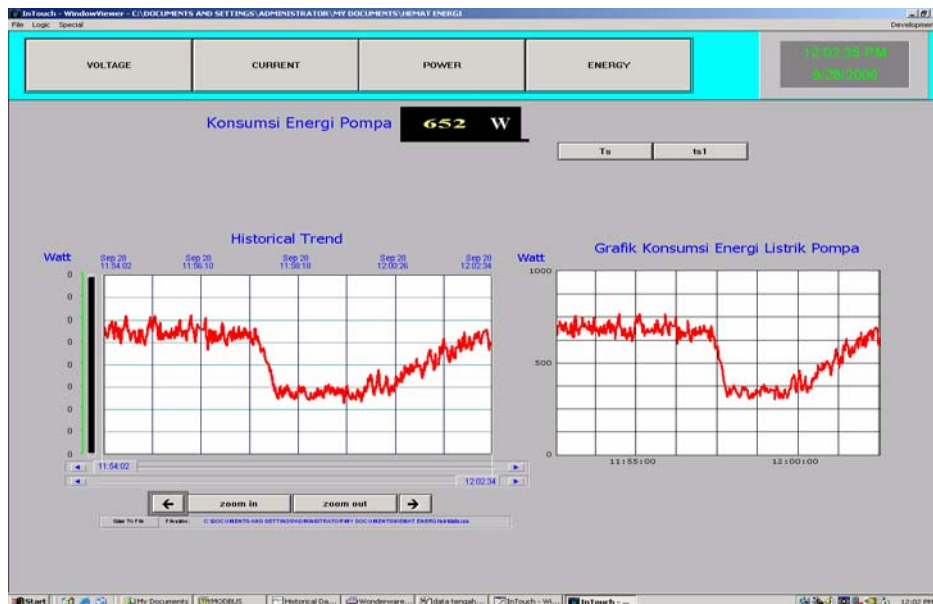
Gambar 3. Komponen perangkat keras sistem monitoring profil energi



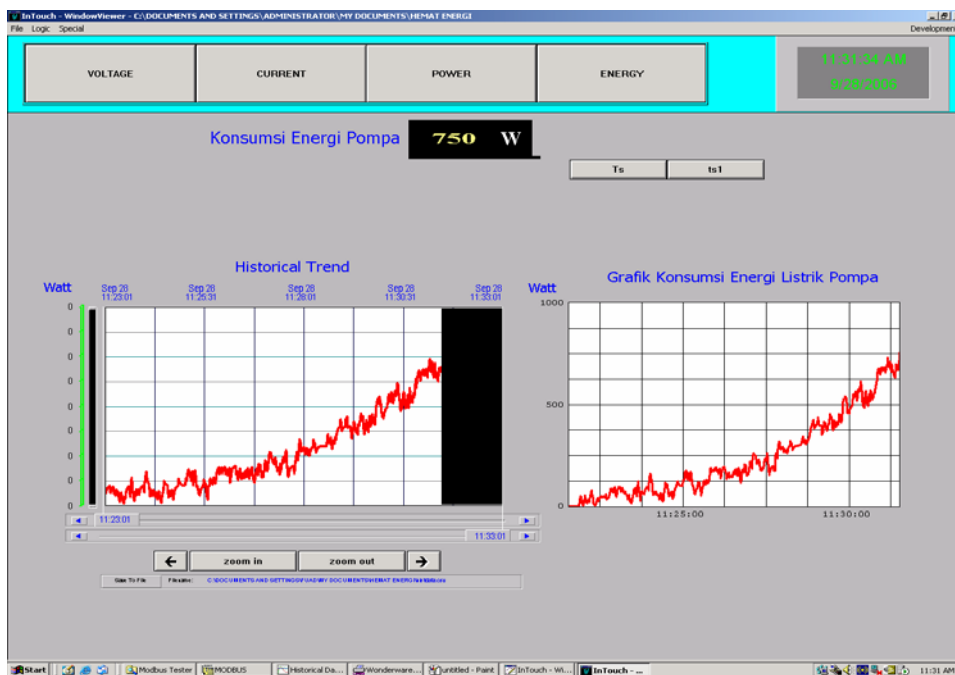
Gambar 4. Visualisasi sistem monitoring profil konsumsi energi

## V. CONTOH PENGUKURAN PROFIL ENERGI

Sebagai ilustrasi implementasi sistem monitoring profil energi, berikut ini diberikan beberapa hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan sistem yang telah dibuat. Gambar 5 menunjukkan profil energi suatu sistem pompa dimana aliran fluida yang dipompa dikontrol dengan menggunakan sebuah *valve* (alat dipasang di Teknik Fisika ITB). Pada sistem ini ingin ditunjukkan bahwa energi yang digunakan untuk memindahkan fluida dengan *control valve*, masih memberikan peluang penghematan energi jika beban aliran fluida bersifat dinamis, kadang-kadang besar dan kadang-kadang kecil. Sistem ini dapat dihemat dengan menggunakan motor penggerak pompa yang dikontrol dengan *Variable Speed Drive (VSD)*, dimana hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Dari Gambar 5 dan 6, tampak perbedaan yang sangat jelas, terutama jika aliran yang diinginkan berada di bawah kapasitas pompa yang digunakan. Gambar 7 dan 8 menunjukkan profil konsumsi energi dan daya yang digunakan pada sebuah hotel (Inna Garuda, Yogyakarta). Dengan monitoring profil energi, setiap ada perubahan mode operasi dan hasilnya segera tampak pada sistem.



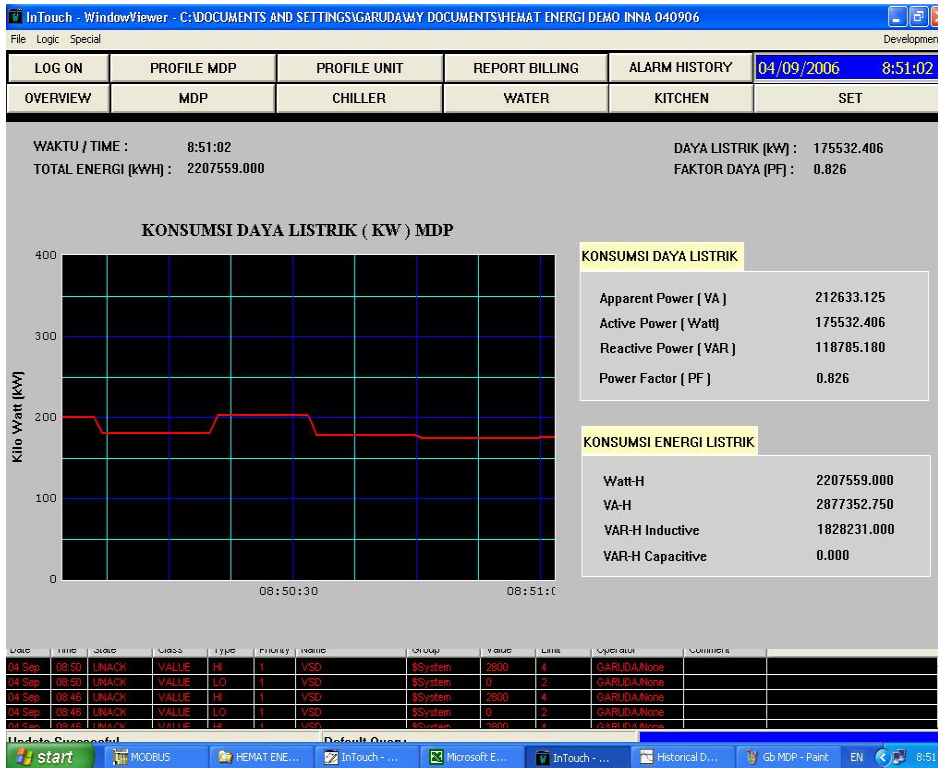
Gambar 5. Profil energi sistem pompa dengan *control valve*



Gambar 6. Profil energi sistem pompa dengan *Variable Speed Drive (VSD)*



Gambar 7. Profil energi pada MDP



Gambar 8. Profil daya elektrik pada MDP

## VI. KESIMPULAN

Dari kajian sistem monitoring profil konsumsi energi yang diteliti, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem telah diujicobakan, baik di laboratorium maupun di lapangan (hotel), yang berarti bahwa sistem dapat digunakan baik untuk skala kecil maupun skala besar (dari aspek jumlah peralatan/panel yang digunakan).
2. Visualisasi sistem yang dibangun sangat membantu dalam melakukan analisis profil konsumsi beban elektrik yang terjadi pada bangunan komersial (dengan cara yang sama dapat digunakan juga untuk bangunan industri). Alat bantu operasi ini dapat digunakan untuk mendapatkan data waktu-nyata profil energi, mengubah mode operasi alat agar konsumsi energi elektrik pada beban puncak tidak melebihi batas yang telah ditetapkan, dan secara cepat dapat memonitor setiap upaya peningkatan efisiensi energi.
3. Keberhasilan sistem monitoring profil energi pada bangunan akan sangat berdampak pada peningkatan efisiensi energi bangunan secara significant yang akhirnya akan memberikan kontribusi pada efisiensi pemanfaatan energi secara nasional.
4. Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari implementasi sistem monitoring profil energi antara lain mencakup hal berikut:
  - Kemampuan melakukan analisis beban pemakaian energi setiap saat secara *real-time* sehingga dapat diketahui profil beban terbesar pada setiap unitnya
  - Penghitungan biaya penggunaan elektrik secara langsung dan memprediksi biaya operasional yang harus dikeluarkan
  - Memungkinkan manajemen penggunaan Kwh energi elektrik, terutama dalam mengatur beban/kebutuhan pada waktu beban puncak sehingga waktu tarif beban puncak dapat diminimalkan.
  - Mengefisiensikan penggunaan energi elektrik dengan cara manajemen penggunaan sesuai dengan pola pengoperasian sistem / peralatan sesuai dengan pola operasi yang efisien.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih pada Manajemen Hotel Inna Garuda, Yogyakarta, yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Le, C.V., Bansal, P.K., dan Tedford, J.D., *Energy Saving Strategy for a Process Multiple-Chiller Plant*, **EcoLibrium**, September 2004, Hal. 22-26.
2. [Http://www.analog.com](http://www.analog.com), *Energy Metering IC with On-Chip Fault and Missing Neutral Detection*, Analog Devices, 2006
3. [Http://www.analog.com](http://www.analog.com), *Evaluation Board Documentation ADE7758 Energy metering IC*, Analog Devices, 2006
4. [Http://www.analog.com](http://www.analog.com), *Poly Phase Multifunction Energy Metering IC with Per Phase Information*, Analog Devices, 2006
5. [Http://www.Modbus-IDA.org](http://www.Modbus-IDA.org), *Modbus Application Protocol Specifications*, Juni, 2004.
6. Turner, W.C., **Energy Management Handbook**, the Fairmount Press, Prentice Hall, Lilburn, 2001.