

Kendali Beban Terpusat Untuk Sistem *Air Handling Unit* (AHU) Di PT MPIM Sebagai Upaya Penghematan Energi Listrik

Jannus Marpaung

Laboratorium Teknik Kendali Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
e-mail: jannus_marpa2@yahoo.co.id

Abstract– *Demand Side Management (DSM)* bertujuan memodifikasi pemakaian energi sehingga diperoleh efisiensi energi yang maksimal. Memodifikasi prosedur operasional peralatan listrik dengan cara yang lebih efektif juga merupakan strategi dalam memperoleh efisiensi energi. Konsumen energi listrik akan mendapatkan kepuasan dengan diterapkannya strategi DSM ini. Penerapan teknik kendali beban terpusat pada peralatan PT. Matahari Pontianak Indah Mal (PT. MPIM) merupakan salah satu tujuan penerapan DSM yang akan memberikan keuntungan berupa penghematan daya dan energi listrik. Skenario kendali beban terpusat yang diterapkan dalam tesis ini mendapatkan penghematan daya listrik yang semula bekerja 1,06MW per hari menjadi 0,65 MW per hari, terjadi penghematan sebesar 38,46% per hari. Strategi DSM yang akan diterapkan pada PT. MPIM adalah pada peralatan AHU (*Air Handling Unit*). Untuk mencapai tujuan efisiensi energi tersebut maka seluruh perangkat-perangkat AHU baik pada FCU maupun Blower (*tombol-tombol, sensor-sensor, dan kontaktor-kontaktor*) perlu dimonitor secara terpusat di ruang kendali utama. Dengan memperhatikan status tombol, sensor dan kontaktor maka teknisi dapat mengetahui jumlah AHU yang aktif dan yang mengalami gangguan. Suatu program monitor yang interaktif dibuat dengan kode sumber Program Delphi, dan dengan menggunakan koneksi kartu PPI 8255 program tersebut dapat berhubungan dengan peralatan diluar komputer, inilah cara untuk mengakomodasi penerapan kendali beban terpusat ini.

Keywords– *Penghematan daya dan energi, AHU, kendali beban terpusat, program monitor*

1. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu sumber daya yang digunakan oleh perusahaan atau organisasi dalam memproduksi barang dan jasa. Penggunaan yang efektif dan efisien, sebagai langkah konservasi energi, dikenal sebagai manajemen energi. Pendekatan secara sistematis dan terstruktur terhadap manajemen energi sangat dibutuhkan dalam usaha mengidentifikasi dan merealisasikan potensi penghematan yang ada.

Konsep Demand Side Management (DSM) merupakan suatu strategi dalam melakukan pengkondisian operasional secara efektif terhadap peralatan-peralatan listrik. Tetapi konsep DSM

berkembang juga pada manajemen beban, strategi konservasi dan pemasaran. Disisi lain biaya pembangkitan daya terus menerus mengalami peningkatan. Karena itu peralatan-peralatan listrik harus dimodifikasi supaya semakin efektif dalam mengkonsumsi daya dan prosedur operasionalnya direncanakan supaya efisien. Langkah kunci dalam memproses DSM adalah menetapkan tujuan DSM, mengidentifikasi kelayakan pemakaian akhir, penilaian terhadap pilihan-pilihan teknis dan pengembangan strategi penerapannya.

Suatu gagasan bagaimana program DSM dapat diimplementasikan dan dapat dimonitor (diamati) dan bagaimana pelanggan dapat berperan serta merencanakan peralatan-peralatan listriknya. Pada akhirnya konsep DSM berperan sebagai solusi kerja terhadap persoalan besar terhadap manajemen peralatan-peralatan listrik.

Berdasarkan *survey* dan pengalaman pekerjaan pada PT. MPIM (PT. Matahari Pontianak Indah Mal) atau lebih dikenal dengan sebutan Pontianak Mal, sistem AHU (*air handling unit*) atau AC terpusat, dapat mengkonsumsi energi sampai 60% dari total kebutuhan energi pada Mal, selebihnya penerangan, AC *split*, komputer, *lift*, eskalator, unit pompa air bersih, unit pengolahan limbah dan lain-lain. Daya terpasang saat ini di PT. MPIM adalah 1,77MVA, pada tegangan 20kV.

2. Profile Gedung PT. MPIM

Gedung PT. MPIM terdiri dari 5 lantai, yaitu:

1. Lantai basement (untuk lahan parkir mobil dan motor) dan kantor manajemen pengelolaan gedung.
 2. Lantai Dasar, didominasi *carefore*, pedagang emas, sepatu, pedagang makanan siap saji dan lain-lain, juga terdapat peralatan *Blower*.
 3. Lantai 1, didominasi pedagang *fashion* dengan *brand* matahari juga terdapat peralatan *Blower*.
 4. Lantai 2, didominasi pedagang *fashion* dengan *brand* matahari juga terdapat peralatan *Blower*.
 5. Lantai *roof* (atap), tempat FCU, antena TV (parabola), antena telekomunikasi (*tower*)
- Pada lantai dasar terletak peralatan-peralatan utama pendukung beroperasi gedung, yaitu: Ruang Genset (Generator Set) dan panel kendali utama, Ruang Pompa *Power Hydrant*, Ruang Pompa Air Bersih dan Ruang Transformator.

Pada lantai Dasar terdapat ruang AHU (*Blower-1* dan *Blower-2*) untuk *coverage area* gedung dan ruang *Blower* khusus untuk *coverage area carefore*.

Pada lantai 1 terdapat ruang AHU (*Blower-3* dan *Blower-4*) untuk *coverage area* gedung dan ruang AHU (*Blower*) khusus *brand* matahari. Pada lantai 2 terdapat ruang AHU (*Blower-5* dan *Blower-6*) untuk *coverage area* gedung, toko buku kharisma dan ruang AHU (*Blower*) khusus *brand* matahari.

2.1. Peralatan Kelistrikan

Divisi engineering bertanggung jawab terhadap kegiatan-kegiatan di area PT.MPIM yang berkaitan dengan peralatan kelistrikan dan mekanik. Beberapa peralatan listrik dapat bekerja secara otomatis dan beberapa yang lain secara manual. Yang bekerja secara otomatis adalah seperti:

1. Sistem Kendali Genset, pengalihan *power* dari sumber genset atau dari sumber PLN (perusahaan listrik negara) dan sebaliknya dilakukan secara otomatis pada panel kendali genset.
2. Sistem Kendali *Lift (Elevator)*.
3. Sistem Kendali Eskalator.
4. Sistem Kendali *Hydrant*.
5. Sistem Kendali Deteksi Kebakaran.
6. Sistem Kendali *Supply Air Bersih*.

Disamping peralatan kelistrikan yang bekerja otomatis masih terdapat yang bekerja secara manual, seperti:

1. Sistem pendingin ruangan di setiap lantai gedung.
2. Sistem penerangan ruangan di setiap lantai gedung.
3. Sistem pengolahan limbah gedung.

2.2. SOP Sistem Kelistrikan Pada Sistem AHU

SOP (standar operasional dan prosedur) dalam mengoperasikan sistem pendingin udara dalam gedung PT. MPIM adalah secara manual. Tiga puluh menit sebelum kegiatan dalam gedung dimulai petugas mengaktifkan setiap *Blower* pada ruang AHU di setiap lantai, kemudian kembali ke ruang petugas teknik. Pada tengah hari petugas memeriksa kondisi *blower* AHU dan kompresor FCU (*fan control unit*) di lantai *roof*. Jika tidak ada gangguan pada FCU maka petugas kembali ke ruang teknik, pada malam hari sistem 30 menit sebelum kegiatan dalam gedung berakhir semua AHU dipadamkan oleh petugas teknik.

Pada PT MPIM terdapat 13 *unit* AHU (*blower*), dimana setiap AHU memiliki 4 *unit* kompresor dan 4 *unit* *fan evaporator*, jadi total terdapat 52 *unit* kompresor dan *fan evaporator*.

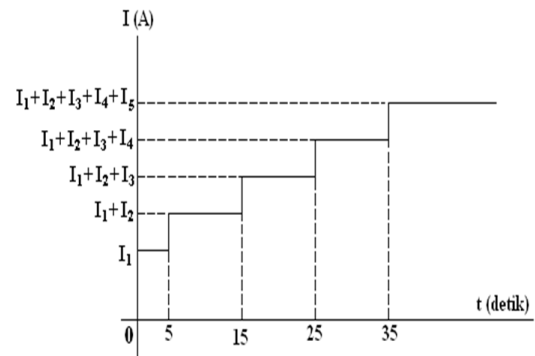
Pada lantai dasar terdapat 4 *unit* AHU, lantai 1 terdapat 4 *unit* AHU dan lantai 2 terdapat 5 *unit* AHU.

Mode *starting blower* adalah Y-D (*star-delta*), sedangkan *fan evaporator* dan kompresor menggunakan mode DOL (*direct on line*). Setiap kali tombol *start* pada AHU diaktifkan, maka *blower* aktif secara Y-D, 5 detik berikutnya kompresor dan *fan evaporator* pertama aktif, 10 detik berikutnya kompresor dan *fan evaporator* kedua aktif, 10 detik berikutnya kompresor dan *fan evaporator* ketiga aktif, 10 detik berikutnya kompresor dan *fan evaporator* keempat aktif. Jadi untuk

mengaktifkan 1 *unit* AHU (1 *blower* dan 4 kompresor-*fan evaporator*) dibutuhkan waktu 35 detik. Urutan untuk mengaktifkan setiap kompresor adalah menggunakan TDR (*time delay relay*).

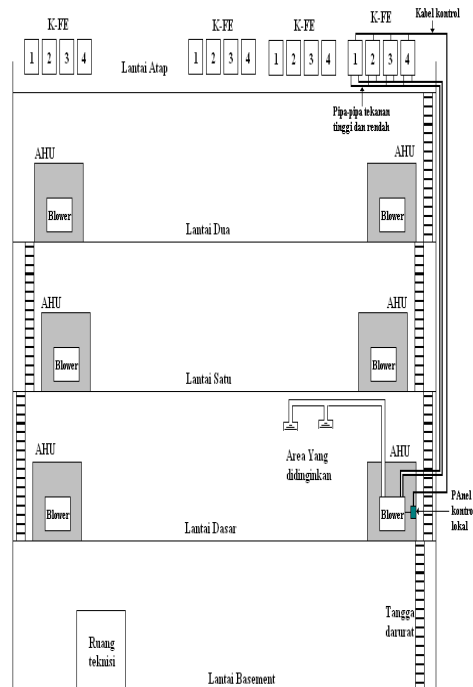
Tabel II-1. Jumlah peralatan AHU di PT. MPIM.

Lantai	Jumlah AHU (<i>blower</i>) dan panel kendali lokal	Jumlah Kompresor dan <i>Fan evaporator</i> (FCU)
Dasar (D)	4	0
Satu (1)	4	0
Dua (2)	5	0
Atap (<i>roof</i>)	0	52



Gambar 1. Ilustrasi hubungan arus terhadap waktu pada satu *unit* AHU.

Untuk 9 *unit* AHU diperlukan arus listrik 9 kali dari arus seperti ilustrasi di atas. Setelah seluruh AHU di aktifkan, aka teknisi kembali ke ruang jaga dan melakukan aktifitas lainnya. Ilustrasi sistem AHU di PT MPIM ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Sketsa koneksi AHU: *blower* dan FCU.

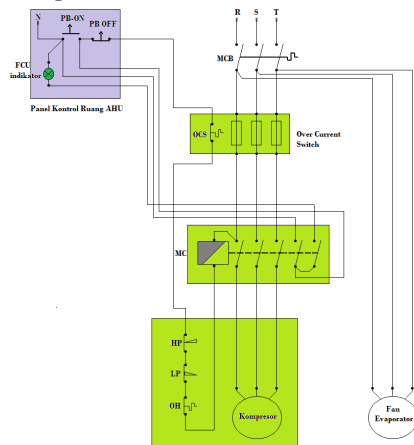
2.3. Rangkaian Kendali FCU

Kondisi yang sudah ada (*existing*), untuk menghidup-matikan (*on-off*) sebuah *unit* FCU dapat dilakukan dari ruang AHU. Dimana FCU berada di atap (*roof*) sedangkan AHU berada di ruang khusus yang berdekatan dengan area (daerah) yang akan didinginkan di dalam gedung. Dalam kondisi normal (FCU tanpa gangguan) dan secara manual, teknisi dapat menghidup-matikan 4 *unit* FCU dari ruang AHU, yaitu dengan menekan tombol PB-ON atau PB-OFF. Jika FCU ON maka lampu indikator akan menyala sebaliknya jika FCU tidak aktif maka lampu indikator padam.

Sebuah FCU terdiri dari peralatan-peralatan listrik dan mekanik sebagai berikut:

1. Kompresor 3 fasa berfungsi menekan gas freon (HP) dan menghisap gas R22 (LP). Tekanan dan hisapan gas R22 dihubungkan melauai pipa dengan AHU.
2. *Fan evaporator* 3 fasa (motor kipas membuang panas).
3. Peralatan proteksi kompresor yang terdiri dari:
 - a. Pressure Switch yaitu HP (high pressure) dan LP (low pressure).
 - b. Over Heat (OH) yaitu proteksi terhadap panas yang berlebihan.
 - c. Over Current Switch (OCS) yaitu proteksi terhadap arus lebih.
4. MC yaitu magnetic contactor berfungsi menyambung atau memutus daya ke FCU (kompresor dan *fan evaporator*).
5. MCB yaitu *mini circuit breaker* berfungsi memutus daya akibat arus lebih pada FCU.
6. RST adalah identitas daya 3 fasa, dimana tegangan fasa ke fasa adalah 380V AC (*alternating current*).

Gambar rangkaian kendali manual dari sebuah FCU ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Rangkaian kendali manual 1 *unit* FCU.

2.4. Audit Energi Awal Pada PT. MPIM

Sektor komersial merupakan konsumen listrik yang sangat besar, beberapa penelitian menunjukkan bahwa 25% penggunaan listrik disektor ini bisa dihemat melalui tanpa biaya rendah, bisa menghemat lagi dengan biaya menengah atau tinggi. Disaat kenaikan harga minyak dunia sudah melebihi \$ 140 per barel

mengharuskan semua elemen baik pemerintah, dunia usaha, masyarakat untuk berbudaya hemat energi sehingga tidak membebankan APBN (Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara) untuk mensubsidi BBM (Bahan Bakar Minyak).

Sedangkan bagi dunia usaha yang subsidi BBM dihilangkan sangat membebankan biaya operasional.

Berdasarkan hasil wawancara dengan *chief engineering* PT. MPIM, AC mengkonsumsi energi bisa mencapai 75 % dari total kebutuhan energi dalam gedung. Kebutuhan energi AC yang begitu besar untuk menggerakkan kompresor untuk mensirkulasikan *refrigerant*, pompa mensirkulasikan air dingin dan *fan* atau *blower* mensirkulasikan udara. Menurut Moubry (1992), *failure modes and effect analysis* didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan.

Melalui metode *failure modes and effect analysis* (FMEA) diharapkan dapat mengidentifikasi setiap bentuk kegagalan yang ada pada proses produksi. Soeparman (1991), Energi merupakan salah satu sumber daya yang digunakan oleh sebuah pabrik dalam memproduksi barang. Penggunaan energi yang efektif dan efisien, konservasi energi, dikenal sebagai manajemen energi. Manajemen Energi Terpadu (MET) adalah suatu aktivitas manajemen energi yang berdisiplin, terorganisasi dan terstruktur menuju penggunaan energi yang lebih efisien, tanpa mengurangi tingkat produksi, kualitas serta ketentuan keselamatan dan pencemaran lingkungan. Prinsip yang mendasari MET adalah efektivitas dalam biaya. Seperti halnya investasi dalam bidang lainnya, konservasi energi hanya dilakukan bila secara komersial layak dipertanggungjawabkan. Dengan demikian MET melibatkan evaluasi baik secara teknis maupun finansial. Penelitian ini berusaha mengkaji dari aspek manajemen energi dengan menerapkan konsep FMEA yang fokus pada *eliminasi* pemborosan energi sistem AC sentral, dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi sistem AC untuk mengurangi biaya energi pada operasional gedung, untuk meningkatkan keuntungan maksimal tetapi masih memenuhi kualitas layanan yang dipersyaratkan. Kebutuhan energi pada *unit-unit* yang mengkonsumsi energi listrik pada PT. MPIM adalah sebagai berikut (Daya maksimum 1,77MW):

Tabel 2. Kebutuhan pemakaian energi pada gedung PT. MPIM.

No	Nama <i>Unit</i>	Daya (kW)	%
1.	Sistem AHU (Pendingin udara di gedung)	1062	60%
2.	Sistem penerangan dalam gedung	265,5	15%
3.	<i>Lift</i>	32	1,81%
4.	Eskalator	64	3,62%
5.	Sistem <i>Power Hydran</i> (Pemadam kebakaran)	75	4,24%
6.	Pengolahan limbah	24	1,36%
7.	Komputer, printer, kipas angin dan cadangan	247,446	14%

Konsumsi daya terbesar adalah pada sistem penkondisi udara (sistem AHU) yaitu sebesar 60% dari total daya PT. MPIM.

2.5. Pemborosan (Waste) Energi Pada Pendingin Ruangan di PT. MPIM

Berdasarkan *workshop waste* (wawancara, observasi di lapangan) pada sistem AC dapat dibuat suatu daftar bentuk-bentuk *waste* potensial yang diidentifikasi. Bentuk-bentuk *waste* potensial dibangun untuk mendukung elemen-elemen *FMEA* dan dalam proses analisa. Pada tahap ini dilakukan penilaian terhadap potensi *waste* secara kualitatif untuk mendapatkan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. *Waste* yang didefinisikan pada sistem AC adalah sebagai berikut :

- Definisi nilai *severity* merupakan seberapa buruk atau pengaruh bentuk kegagalan yang ada. Dalam penilaian *severity* kerugian energi listrik pada sistem AC, nilai *severity* di definisikan, untuk angka skala 1 tanpa kerugian daya listrik sedangkan 9-10 kerugian daya listrik yang paling besar atau sama dengan total daya listrik yang dikonsumsi AC. Besarnya daya tergantung dari data *nameplate* masing-masing *equipment* AC serta efek kerugian yang terjadi pada sistem kerjanya.
- Definisi *accurance* merupakan frekuensi dari penyebab kerugian energi pada AC, bentuk penilaian *accurance* dengan skala I (hampir tidak pernah) sampai dengan 10 (hampir sering).
- *Detection* merupakan pengukuran terhadap kemampuan mendeteksi kerugian energi yang dapat terjadi. *Detection* dengan skala 1-10.

Berdasarkan *risk priority number* maka diperoleh bentuk-bentuk *waste* sebagai berikut :

1. Kualitas *refrigerant risk priority*, bentuk *waste* ini memiliki tingkat keseriusan yang tinggi (level 8), tingkat kejadiannya yang tinggi tetapi manajemen menyadari hal ini, tetapi ada faktor yang harus dipertimbangkan seperti ketahanan material. merupakan prioritas yang harus diperbaiki.

2. *Waste* akibat *fan*, *blower*, *motor valve FCU*, *AHU* dan sistem pompa tidak otomatis, *waste* ini memiliki tingkat keseriusan yang tinggi, tingkat kejadian sedang, tetapi pihak manajemen tidak memahami kejadian ini didalam sistem AC PT. MPIM tetapi *waste* ini menyumbang pemborosan yang sangat tinggi, merupakan prioritas yang harus diperbaiki.

Analisa *cause and effect* menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh terhadap *waste* yang terjadi seperti :

1. oleh manusia, kurangnya pemahaman tentang AC, kurang kendali,
2. oleh mesin, sistem kurang otomatis,
3. oleh lingkungan, suhu udara panas dan kotor,
4. oleh metode, posisi *equipment* yang sulit, oleh material, kualitas material rendah, bentuk material rumit. Akibat dari *waste* yang timbul berpengaruh terhadap peningkatan konsumsi energi listrik pada : *fan FCU* dan *blower AHU*.

Pemborosan yang terjadi akibat kekurangan sistem, kekurangan *accessories* atau peralatan tambahan, posisi bangunan, keterbatasan biaya dan kurangnya. *Waste* yang termasuk dalam kategori ini adalah sebagai berikut :

- a. *Waste* pada unit *FCU* :
 - _ *Waste* akibat motor *valve* tidak otomatis
 - _ *Waste* akibat *fan* tidak otomatis
 - _ *Waste* akibat sirip pendingin kurang bersih
 - _ *Waste* akibat filter udara kurang bersih
- b. *Waste* pada *AHU* :
 - _ *Waste* akibat motor *valve* tidak otomatis
 - _ *Waste* akibat *blower* tidak otomatis
 - _ *Waste* akibat sirip pendingin kurang bersih
 - _ *Waste* akibat filter udara kurang bersih
 - _ *Waste* akibat kerusakan isolasi
 - _ *Waste* akibat volume *dampner* tidak otomatis
- c. *Waste* pada *Chiller* :
 - _ *Waste* akibat operasi *chiller* 1 dan 3
 - _ *Waste* akibat kelebihan jam operasi
 - _ *Waste* akibat pemakaian kualitas *refrigerant* rendah
 - _ *Waste* akibat *fooling factor* atau faktor pengotoran pada sisi kondensor dan *evaporator*
- d. *Waste* pada sistem pompa dan perpipaan :
 - _ *Waste* akibat pemasangan isolasi kurang lengkap
 - _ *Waste* akibat kerusakan isolasi
 - _ *Waste* akibat sistem pompa tidak otomatis
- e. *Cooling tower* :
 - _ *Waste* akibat posisi *cooling tower* disinari panas matahari
 - _ *Waste* akibat *fan* tidak otomatis
 - _ *Waste* akibat warna *cooling tower*

3. Manajemen Sisi Beban (Demand Side Management, DSM)

Konsep DSM merupakan strategi dalam melakukan pengkondisian operasional secara efektif terhadap peralatan-peralatan listrik (*electric utilities*). Tetapi konsep DSM berkembang pada manajemen beban, strategi konservasi dan pemasarannya. Disisi lain biaya pembangkitan daya terus menerus mengalami peningkatan. Karena itu peralatan-peralatan listrik harus di modifikasi supaya semakin efektif dalam mengkonsumsi daya dan prosedur operasionalnya direncanakan supaya semakin efisien.

Beberapa penulis membahas konsep DSM sebagai berikut:

1. Dilip [4], langkah kunci dalam memproses DSM adalah menetapkan tujuan DSM, mengidentifikasi kelayakan pemakaian akhir, penilaian terhadap pilihan-pilihan teknis dan pengembangan strategi penerapannya. Kebanyakannya isunya adalah berhubungan dengan permintaan dan tanggapan dari pelanggan.
2. Gellinga et al., menyatakan suatu gagasan bagaimana program DSM dapat diimplementasikan dan dapat dimonitor (diamati), bagaimana pelanggan dapat berperan dalam merencanakan peralatan-peralatan listrik. Dijelaskan juga bagaimana DSM berperan

sebagai solusi kerja terhadap persoalan besar terhadap pemakaian peralatan-peralatan listrik.

Dari pendapat-pendapat para ahli di atas, akan direncanakan sistem kendali terpusat yang dapat dimonitoring sehingga kerja peralatan listrik dapat bekerja secara efektif supaya terjadi penghematan biaya listrik yang merupakan harapan dari pelanggan.

3.1 Konsep Kendali Beban Terpusat

Kendali beban terpusat yang dimaksud adalah aksi kendali pada seluruh peralatan pengkondisi udara (sistem AHU) dan terpusat di satu tempat (ruang) sehingga dapat di monitor (diamati) dari satu tempat. Aksi kendali dari satu tempat akan membuat sistem kerja peralatan pengkondisi udara akan efisien, dengan mudah dilakukan on-off peralatan dan pengamatan apakah sedang bekerja atau tidak karena sistemnya dilengkapi dengan indikator balik (*feedback indicator*). Dengan adanya kendali beban terpusat ini diharapkan semua peralatan pendingin udara bekerja optimal sehingga tujuan pengkondisian udara pada ruangan atau gedung sesuai dengan yang diharapkan.

Kendali beban terpusat dapat dilakukan menggunakan perangkat-perangkat sebagai berikut:

1. Berbasis Mikrokontroler.
2. Berbasis Programmable Logic Control.
3. Berbasis Program Monitoring pada komputer (laptop).

Dalam menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali utama adalah biaya lebih murah (ekonomis) oleh karena dengan 1 *chip* mikrokontroler dapat memproses sejumlah masukan dan menghasilkan keluaran. Walaupun untuk memproses masukan dan menghasilkan keluaran tersebut tetap diperlukan sebuah komputer/laptop untuk membuat program yang akan ditransfer pada memori mikrokontroler. Namun oleh keterbatasan penulis terhadap sistem mikrokontroler maka monitoring berbasis mikroprosesor ini tidak dilakukan.

Perangkat PLC dapat bekerja pada sistem yang luas, multi input dan output. Perangkat PLC dipasarkan dalam bentuk yang elitis dan futuristik sehingga dibutuhkan biaya yang cukup mahal untuk menerapkan kendali beban terpusat ini berbasis PLC. Walaupun penulis dapat menggunakan PLC dalam konteks ini, namun perangkat PLC ini sangat mahal untuk menerapkan sistem kendali beban terpusat ini.

Menggunakan program monitoring adalah pilihan penulis dalam kendali beban terpusat ini, karena komputer sebagai layar penampil dibuat dengan program Delphi. Program Delphi dapat mengakses perangkat *interface* (PPI 8255) pada *slot motherboard*. Dengan mengatur level tegangan pada perangkat simulator kendali beban terpusat maka simulator dan komputer (program monitoring) dapat tersambung melalui PPI 8255.

• Urutan Perancangan

Perancangan sistem kendali AHU dengan kendali beban terpusat meliputi:

1. Inventarisasi seluruh *unit* yang akan dikendalikan dan dimonitor.
2. Pembuatan simulator *unit* AHU dan FCU.
3. Pembuatan program monitor.
4. Perhitungan efektifitas penggunaan kendali beban terpusat.

3.2. Audit Daya Total Unit AHU

Sistem AHU yang akan dimonitor dan di kendali adalah 13 *unit blower* dan 52 *unit* FCU. Dimana setiap 1 *unit blower* terdapat 4 *unit* FCU. Berdasarkan pengukuran di lapangan arus dan tegangan pada tiap FCU dan *blower* adalah sebagai berikut:

1. FCU:

- Arus per fasa, $I_L = 28A$
- Tegangan 3 fasa, $V_{LL} = 380V$
- $\cos \phi = 0,95$
- Phase = 3

Daya 1 *unit* FCU:

$$P_{FCU} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_L \times \cos(\phi) \text{ W} \quad (3.1.)$$

$$P_{FCU} = 1,732 \times 380 \times 28 \times 0,95 = 15.631 \text{ W atau}$$

$$P_{FCU} = 15,631 \text{ kW}$$

Daya total untuk 52 *unit* FCU (n=52):

$$P_{tot-FCU} = n \times P_{FCU} \quad (3.2.)$$

$$P_{tot-FCU} = 52 \times 15,631 \text{ kW}$$

$$P_{tot-FCU} = 812,828 \text{ kW}$$

2. *Blower*

- Arus per fasa, $I_L = 18A$
- Tegangan 3 fasa, $V_{LL} = 380V$
- $\cos \phi = 0,95$
- Phase = 3

Daya 1 *unit* *Blower*:

$$P_{Blw} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_L \times \cos(\phi) \text{ W}$$

$$P_{Blw} = 1,732 \times 380 \times 18 \times 0,95 = 18.758 \text{ W atau}$$

$$P_{Blw} = 18,758 \text{ kW}$$

Daya total untuk n=13 *unit* FCU:

$$P_{tot-Blw} = n \times P_{Blw}$$

$$P_{tot-Blw} = 13 \times 18,758 \text{ kW}$$

$$P_{tot-Blw} = 243,848 \text{ kW}$$

Daya total *unit* AHU adalah:

$$P_{AHU} = P_{tot-FCU} + P_{tot-Blw} \quad (3.3.)$$

$$P_{AHU} = 812,828 \text{ kW} + 243,848 \text{ kW}$$

$$P_{AHU} = 1.056,676 \text{ kW atau}$$

$$P_{AHU} = 1,056676 \text{ MW atau}$$

Dibulatkan:

$$P_{AHU} = 1,06 \text{ MW atau}$$

Daya total terpasang pada PT.MPIM adalah 1,77MW berarti persentase kebutuhan daya untuk *unit* AHU adalah:

$$\% \text{Daya AHU} = \frac{\text{Daya Total AHU}}{\text{Daya terpasang}} \times 100\% \quad (3.4.)$$

$$\% \text{Daya AHU} = \frac{1,06 \text{ MW}}{1,77 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\% \text{Daya AHU} = 59,89\% \text{ atau jika dibulatkan menjadi:}$$

$\%DayaAHU = 60\%$

Konsumsi daya sebesar 60% dari daya terpasang terasa sangat besar jika diaktifkan seluruhnya, apalagi dengan SOP yang dijalankan saat ini. Tetapi belum tentu aktivasi seluruh *unit* AHU dibutuhkan untuk mengkondisikan udara di dalam gedung. Dengan melengkapi sensor suhu pada area yang akan dikondisikan udaranya maka akan didapatkan jumlah *unit* AHU yang diaktifkan menjadi optimum sehingga tidak terjadi pemborosan pemakaian *unit* AHU.

Untuk 1 *unit* AHU yang akan dimonitor dan dikendalikan secara terpusat diperlukan:

Peralatan masukan sebanyak 9 (FCU) + 5 (*Blower*)

= 14 buah

Peralatan keluaran sebanyak 2 (FCU) + 4 (*Blower*)

= 6 buah

Jumlah masukan dan keluaran dari 1 *unit* AHU adalah 20 buah.

Untuk 13 *unit* AHU terdiri dari 13 *unit Blower* dan 52 *unit* FCU yang akan dimonitor dan dikendalikan secara terpusat diperlukan:

Jumlah masukan untuk 52 FCU adalah 52×9

= 468 buah

Jumlah keluaran untuk 52 FCU adalah $52 \times 2 = 104$ buah

Jumlah masukan untuk 13 *Blower* adalah 13×5

= 65 buah

Jumlah keluaran untuk 13 *Blower* adalah 13×4

= 52 buah

Jadi jumlah masukan total adalah 468 (FCU) + 65 (*Blower*) = 533 buah.

Jadi jumlah keluaran total adalah 104 (FCU) + 52 (*Blower*) = 156 buah

Dapat dilihat untuk mengontrol secara terpusat dan memonitor peralatan-peralatan AHU dari PT. MPIM diperlukan peralatan masukan sebanyak 533 buah dan peralatan keluaran sebanyak 156 buah.

3.3. Inventarisasi Card PPI 8255

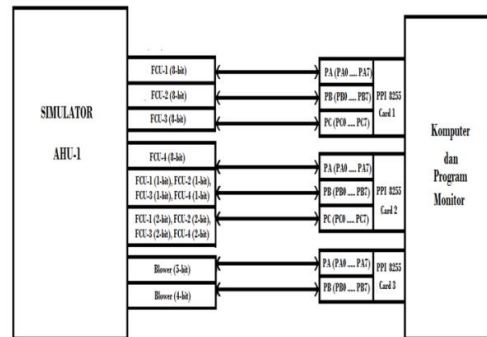
Sebagaimana sudah dijelaskan pada Bab II tentang PPI 8255, port-port PPI 8255 sebanyak 8bit x 3port/bit = 24 port yang dapat berfungsi sebagai masukan atau sebagai keluaran.

Untuk mengakomodasi 533 masukan diperlukan card PPI 8255 sebanyak $533 : 24 = 22,208$ buah dibulatkan jadi 23 buah card PPI 8255 Untuk mengakomodasi 156 masukan diperlukan card PPI 8255 sebanyak $156 : 24 = 6,5$ buah dibulatkan jadi 7 buah card PPI 8255 Total dibutuhkan untuk masukan dan keluaran sebanyak $23 + 7 = 30$ buah card PPI 8255.

• Koneksi Rangkaian Simulator dengan Card PPI 8255

Untuk mengakomodasi 1 *unit* AHU diperlukan 4 rangkaian FCU dan 1 rangkaian *blower*. Satu rangkaian FCU memerlukan 9 buah masukan dan 2 buah keluaran jadi untuk 4 buah FCU diperlukan 36 buah masukan dan 8 buah keluaran, sedangkan untuk rangkaian *blower* diperlukan 5 buah masukan dan 4 keluaran. Dengan demikian untuk 1 *unit* rangkaian AHU diperlukan masukan 41 buah dan keluaran 12 buah, total masukan dan untuk 1 *unit* AHU adalah 53 buah. Oleh karena 1

card PPI 8255 berkapasitas 24 port I/O maka untuk 53 buah masukan keluaran 1 *unit* AHU diperlukan 2 buah card PPI 8255. Gambar rangkaian koneksi antara Simulator 1 *unit* AHU dengan 2 card PPI 8255 yang terhubung dengan komputer ditunjukkan pada rangkaian di bawah ini:

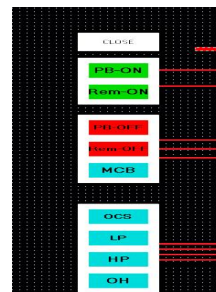


Gambar 4. Koneksi simulator AHU dengan komputer.

3.4. Program Monitor AHU

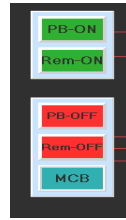
Program monitor berfungsi memonitor kondisi I/O (masukan/keluaran) dari AHU. Yang dimonitor adalah status tombol-tombol masukan, status sensor-sensor dan status Kompresor, *Fan evaporator* dan *Blower*. Dari program monitor ini juga dapat di-on-kan dan di-off-kan *unit* FCU dan *Blower*nya.

Masukan untuk program monitor dari *unit* FCU dan *Blower* diwakili oleh tombol-tombol tekan yang dilengkapi indikator seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

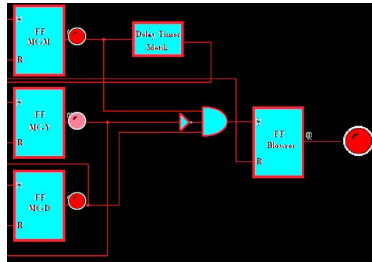


Gambar 5. Tombol-tombol masukan dari FCU.

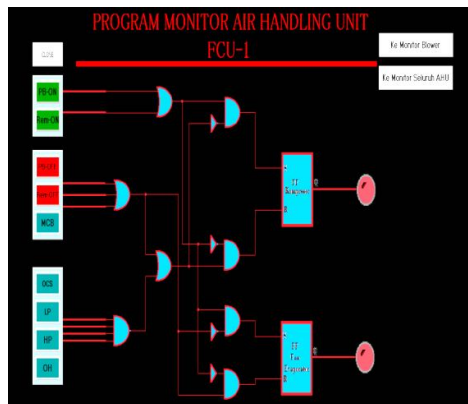
Dalam simulasinya tombol-tombol di atas dapat akses untuk ON atau OFF menggunakan mouse. Cara kerja PB-ON, Rem-ON, PB-OFF dan Rem-OFF adalah sama seperti *Push button*, yaitu jika ditekan maka kontak normally open menjadi normally close dan sebaliknya kontak normally close menjadi normally open. Sedangkan tombol MCB, OCS, LP, HP dan OH jika di klik maka kontak normally open akan jadi normally close, normally close menjadi normally open, kontak tersebut akan tetap pada posisinya sampai ada klikan berikutnya untuk mengembalikan posisi kontak sebelumnya, jadi cara kerjanya sama seperti komponen aslinya



Gambar 6. Tombol masukan dari blower.



Gambar 7. Indikator starting Y-D dan indikator blower.



Gambar 8. Tampilan program monitor FCU-1.

Untuk menjalankan program monitoring di atas maka prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Aktifkan program monitor AHU.
2. Kondisi tombol-tombol dalam kondisi normal (terbuka atau tidak sedang ditekan).
3. Kondisi tombol MCB sedang aktif (menyambung) berwarna biru muda.
4. Kondisi tombol sensor-sensor sedang aktif (menyambung) berwarna biru muda.
5. Tekan sesaat tombol PB-ON atau Rem-ON (remote ON) maka yang terjadi adalah Lampu Indikator Kompresor dan *Fan evaporator* menyala.
6. Jika ditekan sesaat tombol PB-OFF atau Rem-OFF maka lampu indikator Kompresor dan *Fan evaporator* akan padam bersamaan.
7. Kembali tekan sesaat PB-ON maka Indikator Kompresor dan *Fan evaporator* akan menyala, jika MCB di tekan maka tombol MCB akan berwarna Merah akibatnya Indikator Kompresor dan *Fan evaporator* akan padam bersamaan.
8. Kembalikan posisi MCB, dan tekan sesaat PB-ON maka Indikator Kompresor dan *Fan evaporator* akan menyala, jika OCS di tekan maka tombol OCS akan berwarna Merah akibatnya Indikator Kompresor padam

sedangkan Indikator *Fan evaporator* akan tetap menyala. Pada kondisi ini proses pendinginan pada kompresor tidak terjadi, hanya kipas saja yang bekerja. Kondisi ini dipandang tidak normal sehingga harus diatasi.

9. Demikian juga jika salah dari LP, HP atau OH yang bekerja (aktif) maka kompresor akan padam tetapi *Fan evaporator* tetap bekerja.

4. ANALISIS HASIL DAN DISKUSI KENDALI BEBAN TERPUSAT

Berikut ini akan dibahas hasil-hasil dari perancangan kendali beban terpusat. Kendala yang dihadapi dalam mengimplementasikan kendali beban terpusat dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem AHU pada PT. MPIM sudah berjalan sejak tahun 2004 (sistem existing), sehingga tidak bisa dilakukan modifikasi pada unit nyatanya.
2. Slot ISA pada komputer terbatas hanya 3 slot saja dan komputer dengan slot ISA sulit untuk ditemukan di pasaran saat ini. Jumlah Card PPI 8255 yang dibutuhkan adalah 30 buah, sehingga tidak mungkin untuk dikoneksikan secara serempak pada komputer yang terbatas hanya memiliki 3 slot ISA.

Oleh karena itu hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah dalam bentuk simulasi program monitor pada komputer yang merupakan simulasi program monitor dan kendali beban terpusat.

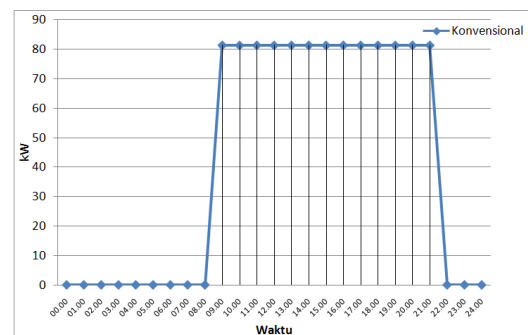
4.1 Tanggapan Daya Seluruh Unit AHU

• Tanggapan Daya Secara Konvensional

Gambar 9. menunjukkan aktifasi seluruh unit AHU yang dimulai dari jam 09.00 sampai dengan jam 21.00 (12 jam). Seluruh AHU diaktifkan, berarti daya sebesar 1,06MW bekerja selama 12 jam per hari.

Konsumsi daya per hari dari AHU adalah $1,06\text{MW} \times 12\text{ h} = 12,72\text{ MWh}$ per hari.

Konsumsi daya per bulan dari AHU adalah $12,72\text{ MWh} \times 30 = 381,6\text{ MWh}$ per bulan.



Gambar 9. Tanggapan daya seluruh AHU secara konvensional.

• Tanggapan Daya Dengan Kendali Beban Terpusat

Pada Gambar 10. juga ditunjukkan penerapan kendali beban terpusat dari seluruh unit AHU dari jam 09.00-21.00. Berikut ini hasil pengamatan jumlah pengunjung, temperatur luar gedung dan temperatur di dalam gedung.

* Pada jam 09.00 mal mulai operasional udara dalam gedung perlu didinginkan, pengunjung belum datang, para pedagang sudah datang, temperatur udara luar gedung 30°C. Diperlukan AHU yang aktif 425kW untuk kondisi pada jam 09.00 ini. Daya 425kW berlangsung sampai dengan jam 10.00.

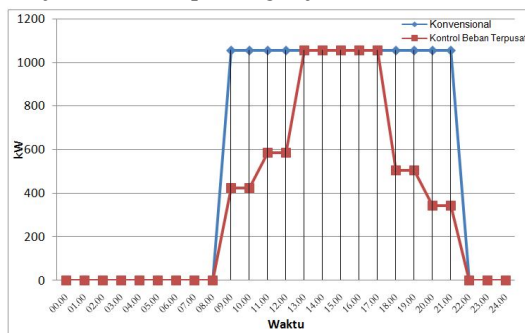
* Pada jam 10.00 pengunjung mulai ramai mengunjungi mal, pengukuran udara luar gedung adalah 30,5°C, yang berarti suhu di luar gedung naik 0,5°C. Pada kondisi ini diperlukan daya AHU yang aktif sebesar 600kW yang merata di setiap lantai yang mal. Daya 600kW berlangsung sampai jam 12.00.

* Pada jam 12.00 pengunjung mal masih ramai dan suhu udara luar bisa mencapai 32°C-33°C sehingga diperlukan daya AHU maksimum mengkondisikan udara dalam gedung. Diperlukan daya sebesar 1.060kW supaya udara dalam gedung bisa dingin, keadaan ini berlangsung sampai jam 18.00.

* Pada jam 18.00 suhu udara luar gedung sudah turun dan mencapai 30°C, jumlah pengunjung masih ramai, diperlukan daya AHU yang aktif sebesar 500kW, kondisi ini berlangsung sampai dengan jam 20.00.

* Jam 20.00 suhu udara luar sedikit menurun yaitu menjadi 29,5°C, pengunjung mulai berkurang, sehingga hanya diperlukan daya 350kW yang aktif untuk mendinginkan udara di dalam gedung. Kondisi ini berlangsung sampai jam 21.00.

* Pada jam 21.00 layanan gedung dihentikan seluruh AHU dimatikan, para pengunjung meninggalkan gedung dan para pedagang bersiap untuk pulang. Suhu udara luar sekitar 29°C. Operasional gedung akan dilanjutkan pada keesokan harinya pada jam layanan yang sama. Berdasarkan uraian di atas maka Gambar 10 menunjukkan tanggapan daya AHU yang diaktifkan mulai jam 09.00 sampai dengan jam 21.00.



Gambar 10. Tanggapan daya AHU dengan kendali beban terpusat selama 12 jam per hari.

Dari Gambar 10. dijelaskan konsumsi energi AHU.

Untuk penerapan kendali secara konvensional jumlah daya dari seluruh AHU adalah 1,06MW. AHU bekerja selama 12 jam per hari berarti konsumsi energi AHU secara konvensional (E_{konv}) selama sehari adalah:

$$E_{konv/hr} = 1,06MW \times 12 \text{ h/hr} = 12,72 \text{ MWh/hr}$$

Jika 1 bulan 30 hari maka konsumsi daya per bulannya adalah:

$$E_{konv/bln} = 12,72MWh/hr \times 30 \text{ hr/bln} = 381,6 \text{ MWh/bln}$$

Untuk penerapan kendali beban terpusat jumlah daya yang diaktifkan bervariasi sesuai kebutuhan. Konsumsi energi AHU secara kendali beban terpusat (E_{ktb}) selama sehari adalah:

Jam 09.00-11.00 (2 jam) AHU yang aktif 5 unit AHU, daya 5 AHU adalah 406,41 kW, sehingga konsumsi energinya:

$$E_{ktb-5} = 406,41 \text{ kW} \times 2 \text{ h/hr} = 812,82 \text{ kWh/hr atau} = 0,81282 \text{ MWh/hr}$$

Jam 11.00-13.00 (2 jam) AHU yang aktif 7 unit AHU, daya 7 AHU adalah 568,974 kW, sehingga konsumsi energinya:

$$E_{ktb-7} = 568,974 \text{ kW} \times 2 \text{ h/hr} = 1137,948 \text{ kWh/hr atau} = 1,137948 \text{ MWh/hr}$$

Jam 13.00-17.00 (4 jam) AHU yang aktif 13 unit AHU, daya 13 AHU adalah 1056,666 kW, sehingga konsumsi energinya:

$$E_{ktb-13} = 1056,666 \text{ kW} \times 4 \text{ h/hr} = 4226,664 \text{ kWh/hr atau} = 4,226664 \text{ MWh/hr}$$

Jam 17.00-19.00 (2 jam) AHU yang aktif 6 unit AHU, daya 6 AHU adalah 487,692 kW, sehingga konsumsi energinya:

$$E_{ktb-6} = 487,692 \text{ kW} \times 2 \text{ h/hr} = 975,384 \text{ kWh/hr atau} = 0,975384 \text{ MWh/hr}$$

Jam 19.00-21.00 (2 jam) AHU yang aktif 4 unit AHU, daya 4 AHU adalah 325,13 kW, sehingga konsumsi energinya:

$$E_{ktb-4} = 325,13 \text{ kW} \times 2 \text{ h/hr} = 650,26 \text{ kWh/hr atau} = 0,65026 \text{ MWh/hr}$$

Total konsumsi daya per hari dengan penerapan kendali beban terpusat adalah:

$$E_{ktb-tot/hr} = 0,81282 \text{ MWh/hr} + 1,137948 \text{ MWh/hr} + 4,226664 \text{ MWh/hr} + 0,975384 \text{ MWh/hr} + 0,65026 \text{ MWh/hr}$$

$$E_{ktb-tot/hr} = 7,803072 \text{ MWh/hr}$$

Jika 1 bulan 30 hari maka konsumsi daya per bulannya adalah:

$$E_{ktb-tot/bln} = 7,803072 \text{ MWh/hr} \times 30 \text{ hr/bln} = 234,0922 \text{ MWh/bln}$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa dengan Kendali Beban Terpusat konsumsi energinya lebih kecil (234,0922 MWh/bln) dibandingkan dengan kendali secara konvensional (381,6 MWh/bln), selisihnya adalah:

$$\text{Penghematan energi per bulan} = 381,6 \text{ MWh/bln} - 234,0922 \text{ MWh/bln} = 147,5078 \text{ MWh/bln}$$

Dalam bentuk persentase, penghematan energi per bulan adalah:

$$\% \text{Hemat/bln} = \frac{147,5078 \text{ MWh/bln}}{381,86 \text{ MWh/bln}} = 38,66\%$$

Dengan adanya penghematan daya dan energi pada sistem AHU ini, maka PT.MPIM dapat memanfaatkan daya yang terhemat untuk mengaktifkan peralatan-peralatan lainnya dan penghematan energi dapat merupakan penghematan secara ekonomis.

Berikut diberikan tabel penghematan daya dan energi harian dan bulanan dari sistem kendali beban terpusat dan secara konvensional.

Tabel 3. Ringkasan penghematan energi dan daya.

Parameter	Konvensional (MW)	Kendali Beban Terpusat (MW)	Penghematan (%)
Daya/hr	1,056666 MW	0,65026 MW rata-rata	38,46%
Daya/bln	12,67999 MW	7,80307 MW	38,46%
Energri/hr	31,69998 MWh	19,50768 MWh rata-rata	38,46%
Energri/bln	380,39976 MWh	234,09216 MWh	38,46%

5. Kesimpulan

Dari hasil-hasil yang diperoleh dalam simulasi dibandingkan dengan konsep dan perancangan yang telah dibahas maka berikut ini ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kendali Beban Terpusat akan memudahkan pelaksana teknis dalam meng-on-kan dan meng-off-kan unit-unit AHU sekaligus memudahkan memonitor aktifasi seluruh unit AHU karena dilakukan dari satu ruang kendali utama.
2. Kendali beban terpusat akan memberikan penghematan secara bervariasi tergantung jumlah unit yang diaktifkan selama sehari atau selama sebulan. Penghematan tersebut adalah dalam bentuk daya dan energi, dari contoh aktifasi yang diberikan penghematan tersebut besarnya adalah 38,46%.

Referensi

- [1]. Best Practices Guidebook, "*Demand Side Management For Pacific Island Power Utilities*," UNDESA /SOPAC – IIEC.
- [2]. Ekadewi A. Handoyo, Wahyudi Jonathan, 2007. "*Audit Energi Listrik Pada Empat Mesin Injeksi Utama di PT MMM*", *Prosiding Seminar Nasional XIII FTI-ITS, Surabaya*.
- [3]. Elyza Rizka dkk, "*Buku Panduan Efisiensi Energi di Hotel*", ISBN 979-98399-2-0, kerjasama Pelangi dengan Alliance to Save Energy.
- [4]. Forum Hemat Listrik, "*Langkah Menghemat Biaya Dengan Cara Menghemat Listrik*", PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat & Banten, Januari 2008.
- [5]. I Made Nuarsa, Hari Supriyanto dan Naning Aranti Wessiani, 2008. "*Pengurangan Waste Air Conditioning System Pada Gedung Komersial Dengan Pendekatan Manajemen Energi (Studi Kasus: Hotel Inna Simpang Surabaya)*", *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VIII, Program Studi MMT-ITS, Surabaya*.
- [6]. Matcho, Jon; Faulkner, David R., 2002. "*Panduan Penggunaan Delphi*", Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [7]. Mismail, Budiono, 1998. "*Dasar-Dasar Rangkaian Logika Digital*", Penerbit ITB, Bandung.
- [8]. Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006, Tentang, "*Kebijakan Energi Nasional*", Presiden Republik Indonesia.
- [9]. Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6196-2000) "*Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung*", Badan Standar Nasional
- [10]. Suhail, Mohammed Abdallah Suhail, 1997. "*Direct Load Control using Programmable Logic Controller*", Thesis for Faculty of The College of Graduate Studies King Fahd University of Petroleum & Minerals Dhahran, Saudi Arabia
- [11]. Supriadi, Muhammad, 2005. "*Pemrograman IC PPI 8255 Menggunakan Delphi*". Penerbit ANDI, Yogyakarta.

