



**OPTIMALISASI SISTEM TATA UDARA GEDUNG PERKANTORAN
BERTINGKAT DENGAN METODE SIX SIGMA
(Studi Kasus Gedung PT.Bank Aceh Cabang Lhokseumawe)**

Syamsuar
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh – Medan Km 280.P.O.Box 90 Buketrata, Lhokseumawe 24301
E-mail : Syamlsm@yahoo.co.id

Abstrak

Penggunaan energi pada sistem tata udara PT Bank Aceh cabang Lhokseumawe setiap tahunnya rata-rata mencapai 60 – 75 % dari total pemakaian energi pada bangunan. Tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan penggunaan energi pada sistem tata udara secara berkesinambungan dengan menggunakan pendekatan *Six sigma*. Perbaikan dengan pendekatan *six sigma* diharapkan dapat menekan biaya penggunaan energi sistem tata udara dengan tidak mengabaikan tingkat kenyamanan sesuai standar kenyamanan nasional (SNI). Permasalahan yang dihadapi pada sistem tata udara yaitu adanya kelebihan beban pendinginan (*over cooling load*), nilainya mencapai angka di luar kapasitas perencanaan awal 60.000 watt. Hasil perhitungan diperoleh beban pendinginan *aktual* rata-rata mencapai 75.580,3 watt. Diketahui bahwa kelebihan beban pendinginan disebabkan beberapa faktor, yaitu: faktor kuantitas penghuni/manusia, faktor ventilasi udara, faktor manajemen pola pemakaian alat-alat listrik, faktor lampu penerangan, dan faktor radiasi/transmisi matahari. Solusi perbaikan sistem tata udara dengan meminimalkan faktor-faktor *penyebab over cooling load*. Hasil perbaikan mendapatkan beban pendinginan sebesar 57.340,9 watt yang berarti terjadi penghematan sebesar 24,2 %, atau penghematan energi listrik perbulan sebesar 4.428,324 kwh/bulan atau setara 50.739,888 kwh/tahun.

Kata Kunci : Beban pendinginan, *six sigma*, optimasi, *critical to quality*

Abstrack

The use of energy in the air system of PT. Bank Aceh Lhokseumawe branch annually averages 60 - 75% of total energy consumption in buildings. The purpose of this research is to optimize energy use in air system continuously using Six Sigma approach. The six sigma approach is expected to reduce the cost of using the air system system without neglecting the comfort level according to the national comfort standard (SNI). The problem faced by the air system is the existence of over cooling load (over cooling load), the value reaches the figure beyond the initial 60,000 watts planning capacity. The calculation results obtained actual average cooling load reached 75,580.3 watts. It is known that the cooling overload is caused by several factors, namely: the quantity of occupant / human, the air ventilation factor, the management factor of electric appliances usage, the lighting factor, and the solar radiation / transmission factor. Solutions to improve the air conditioning system by minimizing the factors that cause over cooling load. The results of the improvement get a cooling load of 57,340.9 watts which means savings of 24.2%, or monthly electrical energy savings of 4,428.324 kwh / month or equivalent to 50,739.888 kwh / year.

Keywords: *cooling load, six sigma, optimization, critical to quality*

1. Pendahuluan

Meningkatnya penggunaan mesin AC pada perumahan, gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, dan gedung-gedung lainnya di negara industri diikuti juga dengan meningkatnya pemakaian energi. Dari distribusi penggunaan energi dalam suatu gedung dapat dilihat bahwa komponen pemakaian energi terbesar adalah sistem pendinginan. *Air Conditioner* mencapai 50 – 70 % dari seluruh energi listrik yang

digunakan, sedangkan pencahayaan 10 – 25 % dan elevator hanya 2- 10 % [1].

Berdasarkan data yang ada, penggunaan energi untuk sistem tata udara pada gedung PT Bank Aceh Cabang Lhokseumawe pada tahun 2009 setiap bulannya rata-rata mencapai 60 -75% dari total konsumsi energi listrik secara keseluruhan. Jika dibandingkan dengan standar dan beberapa hasil penelitian yang telah ada, patut diduga ada terjadi inefisiensi dalam penggunaan

energi untuk sistem tata udara pada perusahaan tersebut.

Penghematan energi pada suatu sistem tata udara (STU) bangunan jadi (*existing building*) masih mungkin untuk dilaksanakan, tanpa banyak membutuhkan perubahan perangkat yang telah ada, seperti pada sistem tata udara gedung PT Bank Aceh cabang Lhokseumawe. Celah yang dimaksud adalah penghematan energi dengan metode pengendalian operasi dan penghematan energi dengan metode modifikasi. Kegiatan *konservasi* energi bertujuan untuk meminimumkan pemakaian energi dalam batas-batas yang wajar tanpa harus mengurangi fungsi dari suatu sistem.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan penggunaan energi pada system tata udara (STU) ruang gedung PT Bank Aceh cabang Lhokseumawe secara kotinyu dengan menggunakan *Six Sigma*.

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah: Perusahaan mendapatkan solusi yang dapat diterapkan dalam melakukan efisiensi penggunaan energi pada sistem tata udara serta menjadi *pilot project* untuk mengurangi angka faktor-faktor penyebab kelebihan beban pendinginan pada gedung PT.Bank Aceh cabang Lhokseumawe dengan metode *Six Sigma* yang nantinya dapat dipakai sebagai *frame work* pada cabang lainnya.

1.1 Penelitian Sebelumnya

Wiyana [2] meneliti bahwa penggunaan energi pada sistem tata udara pada bangunan bertingkat merupakan komponen pemakaian energi terbesar dari total pemakaian energi pada bangunan. Besarnya penggunaan energi pada sistem tata udara ini bervariasi, yang dipengaruhi diantaranya oleh tipe kompressor, tipe kondensor yang dipilih, apakah berpendingin air atau udara, berapa set point temperatur air pendingin (*chilled water*) yang didistribusikan.

Loekita [3] meneliti bahwa sistem tata udara menggunakan 50-70% energi dari keseluruhan energi listrik yang digunakan dalam sebuah bangunan gedung perkantoran. Beban pendinginan dari suatu bangunan gedung terdiri dari beban internal, yaitu beban yang ditimbulkan oleh lampu, penghuni serta peralatan lain yang menimbulkan panas dan beban external yaitu panas yang masuk dalam bangunan diakibatkan oleh radiasi matahari, konduksi dan ventilasi/infiltrasi melalui selubung bangunan.

Nugroho [4] meneliti bahwa penghematan energi pada sistem tata udara bangunan jadi (*Existing Building*), dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain: metode pengendalian operasi; metode pemeliharaan dan pengelolaan; serta metode dengan modifikasi. Dua metode pertama lebih tertarik karena tidak membutuhkan banyak perubahan pada peralatan.

1.2 Manajemen Energi

Dalam suatu gedung perkantoran, berkenaan dengan aspek energi, terdapat dua masalah yang timbul yaitu; cara penyediaan energi yang dibutuhkan untuk proses produksi maupun aktivitas dalam gedung perkantoran, dan bagaimana cara mengelola sehingga didapat efisiensi atau optimalisasi pemakaian energi setinggi-tingginya.

Fungsi-fungsi manajemen energi merupakan unsur sarana manajemen energi yang harus ada bagi keberhasilan suatu sasaran yaitu konservasi energi. Unsur- unsur tersebut adalah:

1. Komitmen dari puncak pimpinan
2. Iklim yang kondusif
3. Program training/penyuluhan
4. koordinasi
5. Monitoring.

1.3 Pengertian Hemat Energi

Hemat energi dalam arsitektur adalah meminimalkan penggunaan energi tanpa membatasi atau mengubah fungsi bangunan, kenyamanan, maupun produktivitas penghuninya [5].

Endangsih [6] menjelaskan, "Secara lebih luas hemat energi harus dimulai dari masing-masing cara pengoperasian bangunan. Secara umum lebih dari 60 persen energi listrik yang dibangkitkan PLN dikonsumsi oleh permukiman sehingga apabila peningkatan kenyamanan bangunan ini dalam kajian pendahuluan dikaitkan dengan penghematan yang ada maka secara nasional akan diperoleh angka-angka yang sangat berarti. Suplai energi yang dibangkitkan relatif stagnan, sementara kebutuhan meningkat dari tahun ke tahun dan harga energi terus naik sehingga perlu tindakan hemat energi yang dimulai dari tahap pemahaman rancangan, maupun manajemen pemanfaatan energi".

Chen [7] menjelaskan ketika melakukan perancangan pada sistem pendingin baru maupun yang telah ada pada suatu bangunan tertentu, prosedur penting dan menjadi paling utama adalah dengan melakukan kalkulasi atau estimasi beban pendingin. Pada prosedur estimasi beban pendingin, diperlukan survei secara mendalam agar dapat dilakukan analisis yang teliti terhadap sumber-sumber beban pendinginan sehingga dari estimasi tersebut dapat ditentukan jenis peralatan dan energi yang dipergunakan.

Beban Pendinginan adalah jumlah total energi panas yang harus dihilangkan dalam satuan waktu dari ruangan yang didinginkan. Beban Panas External untuk seluruh gedung akibat konduksi, radiasi, dan konveksi dapat dihitung dengan menggunakan ASHRAE Handbook :Fundamental 1993. Beban panas external tersebut adalah: Radiasi dan transmisi sinar matahari melalui dinding, partisi, kaca, langit-langit, ventilasi, dan lantai.

Beban Panas Internal untuk seluruh gedung akibat penghuni, lampu dan peralatan, dapat dihitung dengan menggunakan ASHRAE Handbook :Fundamental 1993. Beban tersebut meliputi; penghuni dan lampu penerangan.

1.4 Pengertian Six Sigma

Greg Brue [8] menyatakan *six sigma* sebagai: a) konsep statistik untuk mengukur sebuah proses dimana tingkat kegagalannya sebesar 3,4 kali kemungkinan dari 1 juta kegiatan yang sama; b) filsafat manajemen yang memfokuskan diri pada pembatasan kegagalan melalui praktek yang mengutamakan pemahaman, pengukuran, serta penyempurnaan proses.

Ingle & Roe [9] merumuskan *six sigma* sebagai pendekatan yang melibatkan pengukuran dan penyempurnaan kapabilitas proses manajerial untuk menghasilkan barang/jasa yang terbebas dari cacat.

Untuk mewujudkannya, *six sigma* memerlukan sejumlah tahap yang oleh Brue [10] disingkat DMAIC (*Define, Measures, Analyze, Improvemen, Control*).

2. Metodologi

2.1 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengamatan, pengukuran di lapangan, dan wawancara langsung dengan responden. Data sekunder diperoleh melalui buku, jurnal, dan informasi dari internet.

2.2 Metode Pengambilan Data

Metode *purposive sampling* digunakan untuk pengambilan sampel beban pendinginan. Beban pendinginan yang digunakan sebagai sampel adalah beban pendinginan yang berasal dari faktor dominan yaitu jumlah penghuni dan ventilasi udara.

2.3 Metode Analisis Data

Analisis data adalah proses mengelompokkan, membuat suatu urutan, memanipulasi data, serta meningkatkan data sehingga mudah untuk dibaca. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis data kualitatif dan analisis kuantitatif. Pengolahan data menggunakan program Excel.

2.4 Analisis Data Kuantitatif

Diagram Pareto digunakan untuk menstratifikasi data ke dalam kelompok-kelompok dari yang paling besar sampai yang paling kecil dan berbentuk diagram batang. Diagram Pareto membantu perusahaan mengidentifikasi kejadian-kejadian atau penyebab masalah secara umum.

2.5 Control Chart

Pembuatan *control chart* secara manual menggunakan form yang dilengkapi dengan petunjuk pemakaian dan cara penghitungan dengan jelas sehingga dapat dengan mudah dimengerti oleh pemakai. Data yang ada dapat digunakan untuk mengukur performa proses kembali. Jika performa proses tidak meningkat, analisis yang dilakukan tidak tepat dan harus didiskusikan kembali.

3. Hasil dan Pembahasan

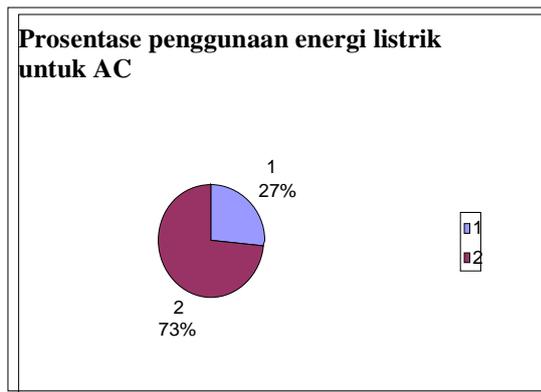
Pemakaian energi listrik oleh PT BankAceh cabang Lhokseumawe pada tahun 2009 adalah sebesar 236 838 KWh/tahun ,dengan penggunaan rata-rata perbulan adalah 19.736,5 KWH.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Penggunaan Energi Listrik untuk AC Periode Th 2009

No	Bulan	Untuk AC (Kwh)
1	Januari	14,385
2	Februari	14,056
3	Maret	12,220
4	April	15,868
5	Mei	15,283
6	Juni	16,015
7	Juli	14,954
8	Agustus	14,748
9	September	13,975
10	Oktober	14,188
11	Nopember	13,984
12	Desember	13,996
Total jumlah		173,672

Sumber PT.Bank Aceh Cabang Lhokseumawe

Gambar berikut memperlihatkan persentase penggunaan energi listrik oleh sistem tata udara pada PT Bank Aceh cabang Lhokseumawe tahun 2009 sebesar 73 %.



Gambar 3.1 Prosentase penggunaan energi pada perusahaan

Tabel 3.2 Standar Intensitas Konsumsi Energi Indonesia (IKE)

No	Ruangan dengan AC	IKE (Kwh/m ² /bulan)
1	Sangat efisien	4,17 – 7,92
2	Efisien	7,92 – 12,08
3	Cukup efisien	12,08 – 14,58
4	Cenderung tidak efisien	14,58 – 19,17
5	Tidak efisien	19,17 – 23,75
6	Sangat tidak efisien	23,75 – 37,5

Sepanjang tahun 2009 perusahaan menggunakan energi listrik rata-rata perbulannya adalah sebesar 19.736,5 Kwh. Jika luas bangunan seluruhnya adalah 1125 m², maka intensitas konsumsi energi (IKE) sebesar 17,6 Kwh/m²/bulan. Bila kita merujuk kepada standar nasional intensitas konsumsi energi Indonesia (IKE). Berdasarkan tabel 2, penggunaan energi pada gedung cenderung tidak efisien (nilai IKE berada pada kisaran 14,58 s/d 19,17).

Tabel 3.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Beban Pendinginan

N	Uraian	Keterangan	HS (Btu/hr)	HL (Btu/hr)
1	Ekster nal Load	Tranmisi kalor melalui dinding beton	21361,0	-
		Radiasi melalui kaca	4357,8	-
		Langit-langit	13654,6	-
		Lantai	1318,7	-
		Ventilasi	26.730,	28.560

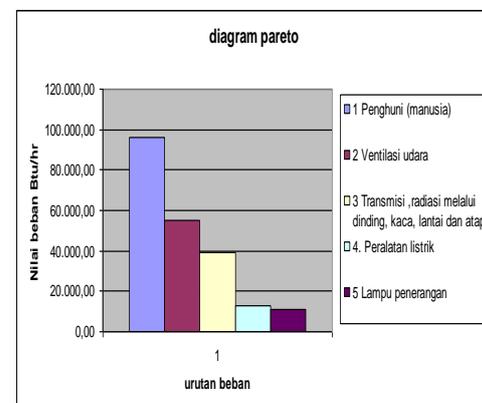
	udara	0	
2	Intern al Load	47.250,0	48.750
	Lampu	10809,1	-
	Komputer	9000,0	-
	Dispenser	1260,0	-
	Televisi	1080,0	-
	Exhaust fan	324,0	-
	Sound system	720,0	-
	Mesin absensi	72,0	-
	Cash register	144,0	-
3	Sub Total		77.310
		127.76	2,5

Total beban pendinginan adalah : 205.072,5 Btu/h

Tabel 3.4 Urutan Faktor yang Dominan pada Beban Pendinginan

No.Urut	Jenis beban	Nilai beban (Btu/hr)
1	Penghuni (manusia)	96.000,0
2	Ventilasi udara	55.290,0
3	Transmisi ,radiasi melalui dinding, kaca, lantai dan atap	39.373,4
4.	Peralatan listrik	12.600,0
5	Lampu penerangan	10.809,1

Perhitungan beban pendinginan terlihat beberapa faktor yang dominan yang merupakan unsur utama yang menyebabkan *over cooling load*, urutannya seperti terlihat pada diagram pareto ini.



Gambar 3.5 Diagram pareto kontribusi jenis beban terhadap *cooling load*

Dari gambar 2. dapat dilihat bahwa faktor penghuni/orang merupakan faktor yang paling menentukan nilai beban pendinginan, kemudian disusul oleh ventilasi udara, peralatan listrik, lampu penerangan, dan transmisi/radiasi matahari. Faktor penghuni dan ventilasi udara merupakan faktor yang saling berkaitan dan sangat menentukan dalam memberikan kontribusi beban pendinginan. Kedua faktor ini selalu bervariasi nilainya, jika jumlah penghuni meningkat, ventilasi udara juga akan meningkat, sedangkan faktor lainnya di luar kedua faktor tersebut cenderung konstan.

Solusi

Fase dalam *six sigma* yang dapat digunakan untuk menentukan solusi pemecahan masalah adalah *improvement* dan *control*. Fase *improvement* dapat menetapkan tindakan-tindakan untuk mengatasi masalah yang ada dan dalam hal ini adalah adanya *over cooling load* pada sistem tata udara (STU) gedung PT. Bank Aceh Cabang Lhokseumawe.. Sedangkan fase *control* digunakan untuk memantau kegiatan yang telah dirumuskan dalam fase *improvement* di lapangan. Fase *control* dilakukan agar hasil yang diperoleh berada pada level yang diinginkan.

3.1 Fase Improvement

Fase *improvement* berkaitan dengan penentuan dan implementasi solusi-solusi berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Perbaikan dilakukan secara menyeluruh pada setiap penyebab terjadinya masalah yaitu terjadinya *over cooling load*. Perbaikan-perbaikan tersebut dilakukan pada aspek jumlah penghuni dan udara ventilasi, peralatan listrik, lampu penerangan, dan pelindung pada kaca.

Aspek manusia yang dimaksudkan adalah cara mengendalikan jumlah nasabah yang melakukan transaksi. Diusahakan tidak seluruh nasabah melakukan transaksi di dalam gedung, sebagian dialihkan pada mesin ATM, hanya nasabah tertentu saja yang melakukan transaksi didalam ruang gedung yaitu transaksi yang tidak dapat dilakukan pada mesin ATM. Dengan demikian, diperlukan sosialisasi penggunaan mesin ATM dan pembuatan kartu ATM bagi nasabah yang belum memiliki dan jika memungkinkan perlu penambahan mesin ATM. Aspek peralatan listrik meliputi masalah manajemen yang berhubungan dengan pemakaian alat listrik didalam gedung agar dapat dibuat pola penggunaan yang efektif yang dapat memangkas beban pendinginan terutama peralatan listrik yang besar daya listriknya. Aspek lampu penerangan didalam gedung menyangkut dengan penggunaan jenis lampu, disarankan lampu yang menggunakan ballast/trafo untuk digantikan dengan lampu jenis yang lain yang tidak

menggunakan trafo dan hemat energi, karena lampu yang bertrafo 80 % dayanya berbentuk energi panas.

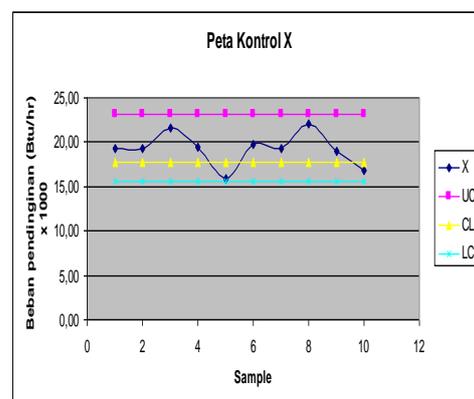
Solusi konkrit yang diusulkan yaitu:

1. Meminimalkan jumlah transaksi pada teller didalam runangan, alihkan transaksi pada mesin ATM (sosialisasikan dan implementasi dan kontrol).
2. Melakukan pengaturan kembali penggunaan alat-alat listrik : komputer, televisi.
3. Mengubah tingkat pencahayaan dengan mengganti jenis lampu dengan daya yang lebih rendah, tetapi tingkat pencahayaan yang memadai.
4. Memperkecil SC (*shading of coefficient*) pada jendela kaca dan kaca mati, dengan memasang gordena yang lebih gelap, dan menanam pohon pelindung pada luar gedung untuk meneduhkan cahaya yang menerobos kedalam gedung.

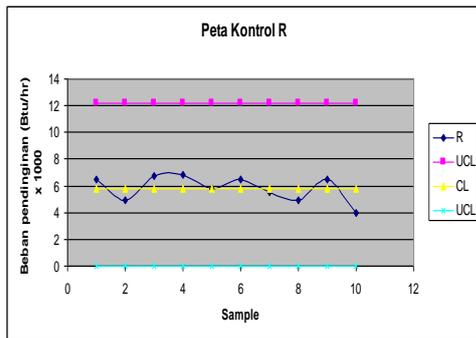
Hasil perbaikan mendapatkan angka beban pendinginan rata - rata sebesar 195.532,5 Btu/hr yang berarti terjadi penghematan sebesar 62.196,3 Btu/hr atau penghematan sebesar 24,2 %, atau penghematan energi listrik sebesar 4.428,324 Kwh/bulan atau setara 50.729,888 Kwh/tahun.

3.2 Fase Control

Fase *control* bertujuan untuk terus mengevaluasi dan memonitor hasil-hasil tahap sebelumnya atau hasil implementasi yang telah dilakukan. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa kondisi yang diperbaiki dapat berkesinambungan dan tidak berjalan dalam waktu yang singkat saja. Pada fase ini alat yang dapat digunakan adalah *control chart*. Penggunaan *control chart* bertujuan untuk memastikan proses terkendali dan melakukan pengukuran kinerja.



Gambar 3.6 Peta control X



Gambar 3.7 Peta kontrol R

Berdasarkan peta kontrol di atas, terlihat bahwa beban pendinginan yang dihasilkan oleh sistem tata udara berada dalam batas kendali. Apabila sampel berada dalam batas kendali, berarti harga beban pendinginan terkendali dan solusi perbaikan yang telah ditetapkan dapat terus dilanjutkan. Namun, bila sampel berada di luar batas kendali maka pihak manajemen harus memeriksa kembali solusi perbaikan yang ditetapkan. Penyimpangan terjadi karena solusi yang diterapkan belum sesuai, baik itu pada aspek jumlah penghuni, ventilasi udara, peralatan listrik, dan penerangan lampu maupun transmisi/radiasi matahari.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan, analisa, dan kajian pada sistem tata udara (STU) ruang gedung PT Bank Aceh cabang Lhokseumawe, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Hasil perhitungan ulang beban pendinginan dengan menggunakan data primer dan data sekunder diperoleh nilai beban pendinginan maksimum pada beban puncak sebesar 205.072,5 Btu/hr (17,09 ton refrigeran), dengan perincian beban pendinginan internal sebesar 134.408,0 Btu/hr dan beban pendinginan eksternal sebesar 67.074,5 Btu/hr. Sedangkan kapasitas pendinginan terpasang (kekuatan mesin AC yang terpasang) adalah sebesar 204.600,0 Btu/hr (17,05 ton refrigeran). Ini artinya hasil perencanaan awal sistem tata udara (STU) ruang gedung sudah tepat,
2. Pendinginan dapat dipangkas sebesar 62.196,3 Btu/hr dengan melakukan perbaikan pada beberapa faktor yang menimbulkan *over cooling load*.
3. Faktor-faktor yang dapat mengurangi beban pendinginan adalah:
 - a. Meminimalkan jumlah transaksi pada teller didalam runangan, alihihkan transaksi pada mesin ATM (sosialisasikan dan implementasi dan kontrol).
 - b. Melakukan pengaturan kembali penggunaan alat-alat listrik : komputer, televisi.

- c. Mengubah tingkat pencahayaan dengan mengganti jenis lampu dengan daya yang lebih rendah, tetapi tingkat pencahayaan yang memadai.
 - d. Memperkecil SC (shading of coefficient) pada jendela kaca dan kaca mati, dengan memasang gordena yang lebih gelap, dan menanam pohon pelindung pada luar gedung untuk meneduhkan cahaya yang menerobos kedalam gedung.
4. Energi listrik dapat dihemat sebesar 4.428,324 Kwh perbulan atau setara 50.739,888 Kwh per tahun atau penghematan sebesar 24,2 %.

Daftar Pustaka

- [1] Soegijanto. "Standar Tata Cara Perancangan Konservasi Energi pada Bangunan Gedung", *Seminar Hemat Energi dalam Bangunan*, 8 April 1993. FT Arsitektur, UK Petra, Surabaya.
- [2] Wiyana, Studi Penggunaan Energi Listrik pada Gedung Bertingkat di Surabaya, Surabaya: Program Pascasarjana Teknik Sipil UK Petra. 2007.
- [3] Loekita, S. Analisis Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung Perkantoran di Jakarta, Tesis No.01000082/ MTS/2005, Program Pascasarjana Teknik Sipil UK Petra Surabaya. 2005.
- [4] Nugroho. Studi Penghematan Energi pada Sistem Tata Udara Bangunan Jadi (*Existing Building*). 1990.
- [5] Soegijanto. Standar tata cara perancangan konservasi energi pada bangunan gedung. *Seminar Hemat Energi dalam Bangunan*, 8 April 1993. FT Arsitektur, UK Petra, Surabaya. 1993.
- [6] Endangsih, T. Penerapan Hemat Energi pada Kenyamanan Gedung, Teknik Arsitektur Universitas Budi Luhur. 2007.
- [7] Xin Chen. of *Annual Addition Building Energy Analysis Capability to a Design Load Calculation Program*, Master Thesis, Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University, Oklahoma. 1996.
- [8] Brue, Greg. *Sig sigma for Managers*. A briefcase Book, Mc Graw-Hill. 2002.
- [9] Ingle, Sarah and Willo Roe. "Sig sigma black belt implementation". *The TQM. Magazine*, Vol. 13-4, pp 273-280. 2001.
- [10] Brue, Greg. *Sig sigma for Managers*. A briefcase Book, Mc Graw-Hill. 2002.