ANALISA OPTIMASI MANAJEMEN ENERGI LISTRIK C*HILLER* PADA *CENTRAL AIR CONDITIONING PLAN* DI MALL MARVELL CITY – SURABAYA

Nurmansyah Dwi Cahyono[1)], Titiek Suheta[2)]
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institiut Teknologi Adhi Tama, Surabaya[(1)(2)]
Email: dwicahyo.mgs@gmail.com

ABSTRACT

-

ABSTRAK

Dewasa ini kebutuhan akan energi listrik untuk keperluan rumah tangga, gedung maupun industri semakin meningkat dan tidak bisa di remehkan lagi. Kebutuhan ini akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Dengan banyaknya penggunaan energi listrik ini, tentu perlu dilakukan efisiensi terhadap penggunaannya. Mall merupakan salah satu pengguna energi listrik yang besar, khususnya pemakaian energi listrik di sisi sistem pendingin. Oleh karena itu perlu dilakukan penghematan energi pada suatu mall tersebut. Mall Marvell City – Surabaya adalah salah satu Mall besar yang baru dibuka dan kondisi mall masih relatif sepi karena masih belum banyak tenant yang masuk, maka dari itu Mall Marvell City memerlukan penghematan energi karena konsumsi energi yang kurang efisien. Usaha penghematan energi pada mall ini dilakukan pada sistem HVAC, khususnya pada sisi water chiller dengan mengoptimasi manajemen pemakaian energi listrik dan menghitung besar nilai Coefficient Of Performance (COP) water chiller tersebut. Dari hasil analisa didapatkan kenaikan COP sebesar 0.584, dimana nilai sebelum optimasi sebesar 6.181. dengan kenaikan COP akan memperbaiki performa mesin chiller tersebut. Efisiensi energi listrik water chiller setelah optimasi sebesar 138,82 kWh/Hari.
Kata kunci : HVAC Water Chiller , Coefficient Of Performance (COP), Optimasi manajemen energy, efisiensi energy listrik.

PENDAHULUAN

Energi merupakan hal yang sangat penting dibutuhkan dalam jumlah yang tidak sedikit. Pertumbuhan penduduk yang semakin hari semakin meningkat, seiring dengan pertumbuhan ekonomi mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan energy. Menurut data yang dirujuk dari Direktorat Konservasi Energi (2012) peningkatan kebutuhan energi tersebut dari tahun 2009-2019 menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi yang meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk menyebabkan kebutuhan energy nasional juga semakin meningkat dan menjadikan penggunaan energi menjadi salah satu kontributor besar biaya operasional yang harus dikeluarkan. [1] Beberapa gedung yang memerlukan banyak energi terutama listrik adalah gedung bertingkat, pabrik, rumah sakit dan gedung perkantoran serta *mall* (pusat perbelanjaan). *Mall Marvell City Surabaya* adalah salah satu gedung bertingkat yang masuk dalam kategori pusat perbelanjaan yang memerlukan banyak energi listrik. Hampir 50 % energi listrik pada mall digunakan untuk mensuplai suatu sistem tata udara (AC). [2]

Untuk menjaga kelestarian sumber energi perlu diupayakan langkah strategis yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dalam rangka menerapkan kebijakan energi nasional sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 13 (2012) tentang penghematan energy listrik. Salah satu bentuk upaya tersebut adalah dengan melakukan effisiensi konsumsi energy pada gedung dan beberapa bangunan besar lainnya. [3] *"Mall Marvell City"* merupakan salah satu gedung yang menggunakan sebagian besar energi listrik untuk menjalankan sistem pengkondisi udara, hal ini perlu dilakukan optimasi manajemen energy listrik pada *"Water Chiller"* yang digunakan dalam sistem refrigerasi pada gedung tersebut.

Pada *Mall Marvell City* terdapat tiga unit *Water Chiller* dengan kapasitas pendinginan masing-masing 500TR, Ketiga chiller tersebut dijalankan secara bersamaan untuk memenuhi kebutuhan beban pendinginan .Sedangkan pada kondisi actual saat ini, kondisi mall marvell city yang masih relative sepi pengunjung karena pembukaan sehingga penggunaan energy listrik

kurang efektif . Maka perlu dilakukan penghematan energi listrik dengan cara optimasi dan manajemen energy pada *Water chiller* yang diharapkan bisa menekan biaya operasional yang membengkak akibat konsumsi energy listrik yang tidak effektif.

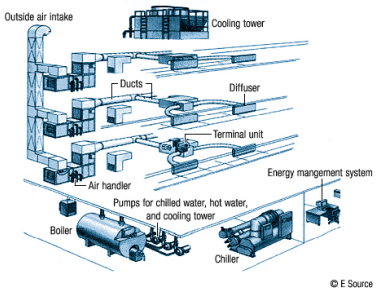
TINJAUAN PUSTAKA

Refrigerasi Dan Pengkondisi Udara

Refrigerasi dan pengkondisian udara merupakan suatu proses yang saling berkaitan satu sama lain, akan tetapi masing-masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda-beda. Refrigerasi merupakan proses penurunan temperatur dan menjaga agar temperatur ruang atau bahan yang ada di ruangan tetap berada dibawah temperatur sekelilingnya. Dengan kata lain ruang lingkup teknik refrigerasi adalah pada proses pendinginan. Teknik pengkondisian udara tidak hanya mendinginkan udara, tetapi penekanannya pada kenyamanan pengguna atau pemakai (*Comfort Air Conditioning*). Menurut definisi pengkondisian udara adalah pengaturan simultan terhadap temperatur, kelembaban, aliran dan kebersihan udara di dalam suatu ruangan. komponen-komponen yang saling berhubungan, diantaranya: *chiller*, AHU, FCU, *Control valve*, *CHWP* (Chilled Water Pump) dan *CWP* (Cooling Water Pump).

Chiller

Chiller Merupakan suatu mesin pendingin yang berkapasitas besar, dari siklus refrigerasi yang terjadi pada *chiller* akan menghasilkan air dingin. Ada beberapa merek *chiller* salah satunya yaitu *Daikin. Chiller* tersebut dimanfaatkan untuk mengkondisikan Gedung *Mall Marvell City* agar diperoleh kondisi nyaman bagi Pengunjung mall yang sedang berbelanja didalam *Mall* tersebut.

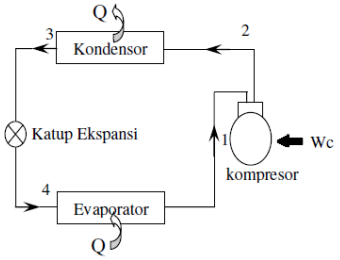


Gambar. 1. Siklus Pengkondisi Udara

Gambar. 2. *Chiller Water Cooled Centrifugal* Daikin

Sistem Kompressi Uap

Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan jenis mesin pendingin yang paling sering digunakan saat ini. Mesin pendingin ini terdiri dari empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Dalam siklus ini uap refrigeran bertekanan rendah akan ditekan oleh kompresor sehingga menjadi uap Refrigeran bertekanan tinggi, dan kemudian uap Refrigeran bertekanan tinggi diembunkan menjadi cairan refrigeran bertekanan tinggi dalam kondensor. Kemudian cairan refrigeran tekanan tinggi tersebut tekanannya diturunkan oleh katup ekspansi agar cairan refrigeran tekanan rendah tersebut dapat menguap kembali dalam evaporator menjadi uap refrigeran tekanan rendah.



Gambar. 3. Siklus Sistem Kompressi Uap

Dasar Perhitungan Performansi

Dasar dasar perhitungan Performansi system refrigerasi diantaranya, *Coefficient Of Performance (COP) dan* Daya Listrik Yang dikonsumsi oleh chiller.

COP (Coefficient Of Performance) [4]

$$COP = \frac{ER}{Wk} \text{ ..... (2.1.)}$$

Dimana :
COP : Coefficient Of Performance
ER : Efek Refrigerasi
Wk : Daya Listrik Yang Dikonsumsi Oleh Chiller
Daya Listrik Yang Dikonsumsi [5]

$$Pi = \frac{V.I.Cos\varphi.\sqrt{3}}{1000} \text{ ..... (2.2.)}$$

Dimana :
Pi : Daya Input chiller (kW)
V : Tegangan Input Chiller (Volt)
I : Arus Listrik Chiller (Amper)
Cos φ : Faktor Daya Chiller
Nilai Cos φ yang digunakan pada chiller adalah 0.87.

KonsumsiEnergi Listrik Chiller

Total energi listrik yang dikonsumsi oleh chiller saat beroperasi, dapat dihitung menggunakan rumus berikut : [6]

$$W = P\ x\ t \text{ ..... (2.3.)}$$

Dimana :
W : Energy listrik *(kWh)*
P : Daya Listrik chiller saat ber operasi *(kW)*
t : Waktu Operasional *(Jam)*

2.1. Konsumsi Energi Listrik rata-rata per hari

Pemakaian rata-rata energy listrik harian pada chiller selama jam operasional dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut : [7]

$$kWh/Hari = \frac{\sum P}{t} \text{ ..... (2.4.)}$$

Dimana :
kWh/Hari : Konsumsi energy listrik rata-rata tiap dalam satu hari. *(kWh)*
$\sum P$: Total Daya Listrik chiller selama Operasional *(kW)*
t : Waktu Operasional *(Jam)*

METODE

Perencanaan Optimasi Manajemen Energi Listrik Chiller

Perencanaan Optimasi manajemen energy listrik chiller dilakukan dengan merubah jadwal penyalaan chiller dari jadwal yang sudah ada selama ini, sebagai berikut

Jadwal Operasional sebelum optimasi

Tabel. 1. Jadwal Operasional Chiller sebelum optimasi

Chiller No.	Jam Operasional												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Chiller 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Dari skema jadwal operasional yang ditunjukkan pada tabel 3.1. dapat di jelaskan prosedur operasional chiller saat hari kerja adalah sebagai berikut :
- Chiller 1 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 2 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00

Jadwal Operasional Saat Optimasi

Jadwal Operasional Saat optimasi di bagi menjadi 2 yaitu saat hari aktif dan saat hari libur, sebagai berikut :

a. Jadwal saat hari aktif

Tabel. 2. skema operasional jadwal optimasi chiller saat hari kerja

Chiller No.	Jam Operasional												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Chiller 1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Chiller 2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Dari skema jadwal operasional yang ditunjukkan pada tabel 3.2. dapat di jelaskan prosedur operasional chiller saat hari kerja adalah sebagai berikut :
- Chiller 1 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 17:00
- Chiller 2 beroperasi pada pukul 14:00 sampai pukul 21:00

b. Jadwal Operasional hari libur

Skema penjadwalan operasional pada chiller 1 dan chiller 2 saat hari libur *(weekend)* dilakukan secara bergantian dan berurutan seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel. 3. skema operasional jadwal optimasi chiller saat hari libur

Chiller No.	Jam Operasional												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Chiller 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Chiller 2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Keterangan Tabel :
- Warna Biru **:** menunjukkan identitas chiller 1
- Warna kuning **:** menunjukkan identitas chiller 2
- Indicator operasional ditunjukkan dengan angka 1 (On) dan angka 0 (Off).

Dari skema jadwal operasional yang ditunjukkan pada tabel 3.3. dapat dijelaskan prosedur operasional chiller saat hari libur adalah sebegai berikut :
- Chiller 1 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 18:00
- Chiller 2 beroperasi pada pukul 12:00 sampai pukul 21:00

Pengambilan Data

Data yang diambil untuk keperluan penelitian ini diantaranya adalah data Arus, Tegangan dan Parameter Untuk perhitungan *CO.*

Data Arus

Data arus yang diambil adalah arus listrik chiller 3 phasa R/S/T pada saat hari kerja dan hari libur. Ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel. 4. Data hasil pengamatan arus saat hari kerja

Waktu (Jam)	Arus Listrik Chiller 1 & 2 (ampere)	
	Sebelum	Sesudah
10:00	885.00	445.67
11:00	880.67	433.33
12:00	898.00	433.33
13:00	896.33	431.33
14:00	875.00	883.67
15:00	866.67	890.00
16:00	859.33	886.00
17:00	862.00	849.33
18:00	864.00	420.00
19:00	878.00	422.67
20:00	871.67	410.00
21:00	876.67	349.33
22:00	876.00	-

Tabel. 5. Data hasil pengamatan arus saat hari libur

Waktu (Jam)	Arus Listrik Chiller 1& 2 (ampere)	
	Sebelum	Sesudah
10:00	855.00	460.00
11:00	860.00	460.00
12:00	830.00	878.33
13:00	880.00	880.00
14:00	868.33	868.33
15:00	880.00	880.00
16:00	900.00	900.00
17:00	900.00	900.00
18:00	900.00	900.00
19:00	916.67	456.67
20:00	901.67	441.67
21:00	900.00	440.00
22:00	905.00	-

Data Tegangan

Data tegangan yang diambil adalah tegangan 3 phase R-S / R-T / S-T. saat operasional sehari Pada chiller 1 dan chiller 2.

Tabel. 6. Data tegangan saat hari kerja

Waktu (Jam)	Tegangan rata – rata chiller 1& 2 (Volt)	
	Sebelum	Sesudah
10:00	394.00	398.00
11:00	394.50	398.00
12:00	395.00	398.00
13:00	394.83	392.00
14:00	394.00	394.00
15:00	394.00	393.00
16:00	395.00	393.00
17:00	394.33	395.00
18:00	394.00	390.00
19:00	395.00	395.00
20:00	395.00	395.00
21:00	395.00	395.00
22:00	394.00	-

Tabel. 7. Data tegangan saat Hari libur

Waktu (Jam)	Tegangan rata – rata chiller 1& 2 (Volt)	
	Sebelum	Sesudah
10:00	395.00	400.00
11:00	395.00	400.00
12:00	395.00	400.00
13:00	395.00	400.00
14:00	395.00	395.00
15:00	395.00	395.00
16:00	395.00	395.00
17:00	395.00	395.00
18:00	395.00	395.00
19:00	395.00	395.00
20:00	395.00	395.00
21:00	397.50	400.00
22:00	395.00	-

Data Parameter *COP* Chiller

Untuk *COP* design unit diambil dari name plate mesin chiller atau spesifikasi unit chiller yang terletak pada panel mesin chiller.

***COP* Saat Optimasi**

Untuk COP setelah optimasi dihitung dari data *cooling capacity* dan *power input* atau daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan chiller. data-data tersebut adalah sebagai berikut :

- **data COP Saat hari kerja *(Weekday)***

Hasil pengambilan data chiller 1 dan 2 saat proses optimasi berlangsung dihari kerja.

Tabel. 8. Data spesidikasi chiller Sebelum Optimasi

No	Spesifikasi	Data
1	Tipe chiller	*Water Cooled Chiller*
2	*Cooling capacity*	1758 kW
3	Power input	284.4. kW
4	*COP*	6.181
5	Tipe *compressor*	*Centrifugal*
7	Jenis refrigeran	R-134a
8	Tegangan Supplay	3 Phase 380Volt / 50 Hz

Tabel. 9. Data Parameter COP Saat Optimasi chiller 1 dan 2 saat Hari Kerja

Data Yang Diambil	Hasil	
	Chiller 1	Chiller 2
Cooling Capacity	1758 kW	1758 kW
Power Consumption	271.40 kW	252.62 kW

Data COP Saat hari libur *(Weekend)*

Hasil pengambilan data chiller 1 dan 2 saat proses optimasi berlangsung dihari libur.

Tabel. 10. Data Parameter COP chiller 1 dan 2 saat optimasi berlangsung

Data Yang Diambil	Hasil	
	Chiller 1	Chiller 2
Cooling Capacity	1758 kW	1758 kW
Power Consumption	270.50 kW	246.72 kW

HASIL DAN PEMBAHASAN

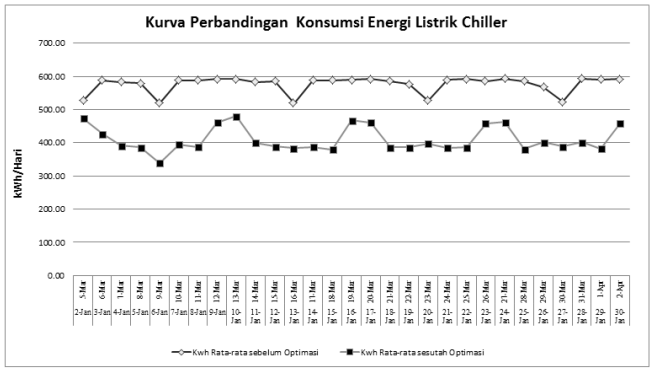
Hasil Perhitungan Konsumsi Energi Listrik chiller sebelum dan sesudah Optimasi

Hasil Perhitungan Konsumsi Energi listrik rata – rata chiller sebelum optimasi dengan jadwal penyalaan pkul 10:00 dan jadwal pemadaman pkul 22:00. Sedangkan jadwal ssudah optimasi yaitu dengan menunda penyalaan chiller nomor 2 lebih lambat 4 jam pada hari kerja dan 2 jam pada hari libur dengan nilai arus dan tegangan masing-masing saat sebelum optimasi adalah sebesar : 885A dan 394 V serta cos φ =0.87. dengan menggunakan persamaan 2.2 maka diperoleh hasil sebagai berikut :

$$Pi = \frac{V.I.Cos\varphi.\sqrt{3}}{1000} = \frac{394\ x\ 885\ x\ 0.87\ x\ 1{,}73}{1000} = 524{,}81\ kW$$

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat diperoleh perbandingan nilai konsumsi energi listrik chiller sebelum dan sesudah optimasi sebagai berikut :

Dari grafik pada gambar.4, maka bisa disimpulkan bahwa konsumsi energy listrik chiller sebelum optimasi lebih tinggi disbanding sesudah optimasi. Hal ini ditunjukkan oleh kurva konsumsi energy listrik chiller diatas. Dimana terjadi selisih sebesar *138,82 kWh/Hari* dimana konsumsi daya rata-rata sebelum optimasi sebesar *522,55 kWh/Hari.*



Gambar. 4 Grafik Perbandingan Konsumsi energy listrik rata –rata chiller sebelum dan sesudah optimasi.

Hasil perhitungan *COP*

Dengan persamaan 2.1 maka nilai *COP* chiller 1 dan 2 setelah optimasi adalah sebagai berikut :

a. *COP Chiller* 1 Pada hari kerja

Dari data yang ditunjukkan pada tabel 9 untuk *chiller* 1, maka hasil perhitungan *COP chiller* 1 saat hari kerja adalah sebagai berikut :

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{271.40} = 6.4775 = 6.478$$

b. *COP Chiller* 2 Pada hari kerja

Dari data yang ditunjukkan pada tabel 9. untuk *chiller* 2, maka hasil perhitungan *COP chiller* 2 saat hari kerja adalah sebagai berikut :

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{252.62} = 6.959$$

c. *COP* rata –rata chiller 1 dan chiller 2 pada saat hari kerja

$$COP\ rata - rata = \frac{COP\ chiller\ 1 + COP\ chiller\ 2}{2}$$

$$COP\ rata - rata = \frac{6.478 + 6.959}{2} = \mathbf{6.718}$$

d. COP *Chiller* 1 Pada hari libur

Dari data yang ditunjukkan pada tabel 10. untuk *chiller* 1, maka hasil perhitungan *COP chiller* 1 saat hari libur adalah sebagai berikut :

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{270.50} = 6.499$$

e. *COP Chiller* 2 Pada hari libur

Dari data yang ditunjukkan pada tabel 10. untuk *chiller* 2, maka hasil perhitungan *COP chiller* 2 saat hari libur adalah sebagai berikut :

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{246.72} = 7.125$$

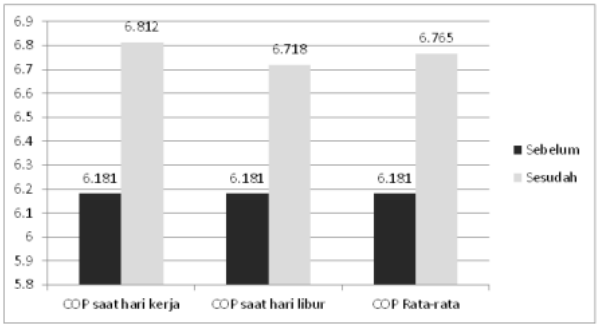
f. *COP* rata –rata chiller 1 dan chiller 2 pada saat hari libur *(weekend)*

Dari hasil analisa *COP* pada *chiller* 1 dan *chiller* 2 saat hari libur (weekend) dapat diperoleh nilai *COP* rata – rata *chiller* saat hari libur sebagai berikut.

$$COP\ rata - rata = \frac{COP\ chiller\ 1 + COP\ chiller\ 2}{2}$$

$$COP\ rata - rata = \frac{6.499 + 7.125}{2} = \mathbf{6.812}$$

Dari Hasil perhitungan diatas *COP* Chiller diatas maka dapat disimpulkan bahwa *COP* sesudah optimasi naik sebesar *0.584* dari *COP* sebelum Optimasi sebesar *6.181* Hal ini ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar. 5. Grafik Perbandingan COP Chiller

Penghematan Finansial yang dihasilkan

Merujuk pada PerPres No. 10 Tahun 2011 untuk tarif tenaga listrik kategori diatas 30.000 KVA ke atas yang disediakan oleh PT. PLN (persero), maka biaya per kWh adalah Rp. 971.01, baik saat WBP maupun LWBP. Maka nilai penghemetan yang bisa di hasilkan adalah :
Penyelamatan Finansial dalam satu hari adalah :
138.82 kWH x Rp. 971.01 x 12 = Rp. 1.627.547,29

Penyelamanan Finansial dalam satu bulan adalah :
Rp. 1.627.547,29 x 31 = Rp. 50.143.966,25

Penyelamatan Finansial dalam satu tahun adalah :
Rp. 50.143.996,25 x 12 = Rp. 601.727.955,-

KESIMPULAN

Dari hasil analisa optimasi manajemen energy listrik *chiller* yang dilakukan pada Central air conditioning plan mall marvell city – Surabaya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kenaikan COP sebesar 0.584, dimana nilai sebelum optimasi sebesar 6.181. dengan kenaikan nilai COP, akan memperbaiki performa mesin tersebut.
2. Dengan naiknya COP *chiller*, mampu menghemat konsumsi energy listrik yang dikonsumsinya.
3. Efisiensi energy listrik *chiller* yang didapat setelah optimasi sebesar 138.82 kWh/hari, dari nilai awal sebelum optimasi sebesar 522.55 kWh/ hari.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Putri, A D. 2014*," pemilihan Alternatif Peluang Hemat Energi Listrik Dengan Pendekatan Metode Anp dan Promethee",* jurnal rekayasa dan manajemen sistem industri vol. 3 no. 1 Teknik Industri Universitas Brawijaya.

[2] ,2016."*Pemakaian Listrik Di asia dan Indonesia yang terboros*." *http://www.alpensteel.com/article/47-103-energi-angin--wind-turbine--wind-mill/3566--pemakaian-listrik-diasian-indonesia-yang-terboros.htm,* (diakses : 11/02/2016 ; 4.30 PM).
[3] ,2016. " *Peraturan Mentri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor:13 Tahun 2012*, Jakarta : Sekretariat Negara. (Diakses:14/02/2016 ; 13.40 PM).
[4] Arismunandar, Wiranto. 1991. *" Penyegaran Udara ",*Pradnya Paramita; cetaken ke-4.
[5] 2016.perhitungan daya masuk motor induksi 3 phasa. *http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%20-%20Electricity%20(Bahasa%20Indonesia).pdf,* (Diakses :10/02/2016 ; 1.44 AM).
[6] Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-6196-2000, Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
[7] Wafi, Dendy Yumnun. 2012. *" Optimasi dan Manajemen Energi Kelistrikan di Gedung Mall City Of Tommorrow ".* Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

ISBN 978-602-98569-1-0

- *Halaman ini sengaja dikosongkan* -