**ESTIMASI POTENSI PENGHEMATAN ENERGI DENGAN MEMPERHITUNGKAN
EFEK INTERDEPENDENSI STUDI KASUS PADA GEDUNG PERKANTORAN
BERTINGKAT DI JAKARTA**

***ESTIMATING ENERGY SAVING POTENTIAL BY TAKING INTO ACCOUNT
INTERDEPENDENCE EFFECT CASE STUDY: HIGH RISE OFFICE BUILDING IN JAKARTA***

Endang Widayati

Pengajar dan Praktisi Konservasi Energi pada Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Ketenagalistrikan,
Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia

Email: endangwidayati4@gmail.com

Diterima: 20 Januari 2021. Disetujui: 30 Maret 2021. Dipublikasikan: 24 April 2021

Abstrak: Tujuan studi ini adalah membandingkan perhitungan potensi penghematan energi tanpa memperhitungkan efek interdependensi dengan perhitungan potensi penghematan energi dengan memperhitungkan efek interdependensi berdasarkan studi kasus pada bangunan gedung terkondisikan. Estimasi potensi penghematan energi yang akurat akan menghasilkan proyek konservasi energi yang *bankable* sehingga meningkatkan kepercayaan terhadap investasi proyek efisiensi energi. Hal ini akan meminimalkan ketidakpastian penghematan energi yang dapat dicapai serta meningkatkan potensi untuk mencegah risiko investasi dari implementasi proyek efisiensi energi. Hasil dari studi ini menunjukkan terjadinya kenaikan estimasi penghematan energi sebesar 4,29% pada ESM-1 yaitu retrofit tata cahaya dan kenaikan estimasi penghematan energi sebesar 22,75% pada ESM-2 yaitu pemasangan VSD pada AHU. Pengaruh interdependensi tersebut berupa pengurangan *cooling load* pada bangunan gedung karena efek interdependensi pada ESM-1 dan ESM-2. Secara total perhitungan efek interdependensi akan meningkatkan prosentase total estimasi potensi penghematan energi dari 34,23% menjadi 39,05% berdasarkan *baseline* energi dengan *baseyear* yang telah disepakati atau meningkat sebesar 4,82%. Perhitungan efek interdependensi akan berpengaruh dalam meminimalisasi ketidakpastian apabila proyek efisiensi energi dibiayai dengan *energy performance contract* dengan skema *guaranteed saving* maupun *shared saving*. Perlu tindak lanjut dari studi ini yaitu perhitungan dan verifikasi penghematan energi hasil implementasi ESM-1, ESM-2 dan ESM-3 pada tahun berjalan.

Kata Kunci : konservasi energi, efisiensi energi, *interdependensi*, *baseline* energi, ESM (*energy saving measures*)

Abstract: The purpose of this study is making comparison between calculation of the potential for energy savings without and with taking into account the interdependency effect based on a case study in a conditioned high rise office building in Jakarta. Accurate estimation of the energy saving potential will increase the confidence level in bankable investment of energy saving projects. It minimize the uncertainty which can prevent investment risks during implementing energy efficiency projects. The results of this study shows the estimated energy savings of ESM-1 increase 4.29% when the interdependency effect is taking into account, ESM-2 the estimated energy saving increase 22.75% by taking into account interdependency effect. The effect of this interdependence both ESM-1 and ESM-2 is a reduction in cooling load in buildings. Totally, the calculation of the interdependency effect will increase the percentage of the total estimate of potential energy savings from 34.23% to 39.05% based on the energy baseline. The calculation of the interdependency effect will be contribute to minimize uncertainty when the projects are financed by an energy performance contract mechanism whether a guaranteed or shared saving scheme. The measurement and verification energy saving during reporting period should be conducted in thereporting periode.

Keywords: *energy conservation, energy efficiency. Interdependency, energy baseline, ESM (energy saving measures)*

PENDAHULUAN

Penelitian tentang konservasi dan efisiensi energi pada bangunan gedung telah banyak dilakukan, misalnya penelitian tentang audit energi pada gedung publik [1] dengan hasil berupa potensi penghematan dan rekomendasi penghematan energi. Penelitian tentang audit energi pada bangunan sekolah [2]

dengan hasil berupa potensi penghematan energi dan rekomendasi peluang peningkatan kinerja energi. Penelitian tentang *investment grade energy audit* [3] dengan hasil berupa tingkat investasi untuk implementasi proyek-proyek efisiensi energi. Penelitian tentang audit energi dengan pendekatan konsep *green building* [4] dengan hasil penelitian

rekomenadasi untuk peningkatan efisiensi pada bangunan gedung dengan membandingkannya berdasarkan kriteria *green building*.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya penghitungan potensi penghematan energi berdasarkan pada berapa energi yang diborosan atau rugi-rugi energi pada bangunan gedung kondisi eksisting dan dibuat rekomendasi penghematan energi untuk peningkatan kinerja energi dengan tidak mempertimbangkan faktor interdependensi dari tiap – tiap rekomendasi apabila diimplementasikan secara bersamaan. Pada penelitian ini menekankan efek perhitungan interdependensi apabila rekomendasi penghematan energi dilakukan secara bersamaan yang belum pernah dilakukan oleh peneliti peneliti sebelumnya.

Konservasi dan efisiensi energi secara luas diakui sebagai solusi terbersih dan berbiaya terendah bagi negara untuk memenuhi kebutuhan pasokan energi dan target pengurangan emisi gas rumah kaca [5]. Dengan demikian perhitungan penghematan energi dari suatu proyek konservasi dan efisiensi energi harus akurat untuk memperkecil ketidakpastian antara potensi penghematan energi sebelum proyek konservasi dan efisiensi energi dilaksanakan dengan perhitungan dan verifikasi setelah proyek konservasi dan efisiensi tersebut dilaksanakan.

Estimasi potensi penghematan energi yang akurat akan menghasilkan proyek konservasi dan efisiensi energi yang *bankable* yang akan meningkatkan kepercayaan terhadap investasi proyek – proyek penghematan energi dengan meminimalkan ketidakpastian penghematan energi yang dapat dicapai dan meningkatkan potensi untuk mencegah risiko investasi dari implementasi proyek-proyek konservasi dan efisiensi energi [6].

Studi ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan potensi penghematan energi tanpa memperhitungkan efek interdependensi dengan perhitungan potensi penghematan energi dengan memperhitungkan efek interdependensi berdasarkan studi kasus pada bangunan gedung terkondisikan. Penghematan dari konservasi dan efisiensi energi bersifat unik karena mencerminkan pengurangan (atau ketiadaan) penggunaan energi dan tidak dapat diukur secara langsung seperti kilowatt jam (kWh) yang dihasilkan dari produksi listrik. Penghematan proyek konservasi dan efisiensi energi ditentukan dengan membandingkan penggunaan energi yang diukur setelah proyek konservasi dan efisiensi energi diimplementasikan dengan baseline energi yang setara sebelum atau jika tidak ada implementasi [7].

Dalam sistem energi, sebuah sistem yang sederhana dapat diklasifikasikan ke dalam tiga level, yaitu produksi dan konversi energi dari sebuah sumber energi (energi primer) menjadi bentuk energi yang bisa dipakai (energi sekunder), distribusi dan penyimpanan energi dan pengkonsumsi energi misalnya pada bangunan gedung [8]. Namun, dalam setiap bentuk energi selalu terjadi kehilangan sebagian energi yang dikenal dengan rugi – rugi

energi dengan kata lain tidak akan bisa energi dikonversi dengan efisiensi 100%. Rugi – rugi yang terjadi dapat dikurangi dengan upaya konservasi energi [9].

Konservasi energi merupakan upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya [10]. Upaya untuk melakukan konservasi energi terdiri dari tiga tahap, masing – masing tahap mempunyai konsekuensi dari biaya yang berbeda beda [11]. Tahap pertama berupa pencegahan untuk menghilangkan buangan energi. Hal ini dapat berupa perubahan kebiasaan untuk mematikan lampu atau AC pada ruangan yang tidak digunakan, upaya tersebut hampir tidak menggunakan biaya. Tahap kedua berupa upaya untuk mengurangi rugi – rugi energi berupa pemanfaatan kembali energi yang terbuang atau recovery.

Biaya yang diperlukan dalam investasi upaya tahap kedua biasanya rendah hingga menengah. Tahap ketiga dalam upaya konservasi energi adalah meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi melalui inovasi teknologi. Hal ini berupa penggantian peralatan lama ke peralatan baru yang menggunakan teknologi lebih canggih dan hemat energi. Misalnya adalah penggantian lampu neon atau fluorescent menjadi lampu Light Emitting Diode (LED). Investasi yang dibutuhkan untuk upaya konservasi energi pada tahap ini biasanya menengah hingga tinggi dikarenakan padat inovasi teknologi.

Upaya konservasi dapat dilakukan setelah dilakukan upaya identifikasi potensi penghematan energi. Dengan adanya identifikasi ini maka akan memudahkan pengelola atau pemilik fasilitas untuk mengetahui tindakan konservasi energi apa saja yang perlu dilakukan, berapa investasi yang dibutuhkan, berapa penghematan dan pengembalian yang akan diperoleh atas investasi tersebut [12]. Identifikasi potensi penghematan energi dapat dilakukan melalui audit energi [13]. Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi [14]. Rekomendasi yang dihasilkan dari audit energi berupa tindakan konservasi energi apa saja yang perlu dilakukan untuk menghemat pemakaian energi pada suatu fasilitas [15].

Skema pembiayaan untuk pelaksanaan program – program konservasi dan efisiensi yang merupakan hasil rekomendasi dari kegiatan audit energi dapat berasal dari pembiayaan sendiri, pinjaman maupun mekanisme pembiayaan lainnya yaitu kontrak kinerja energi atau *Energy Performance Contracting* (EPC) [16].

Mekanisme EPC ini ada dua jenis yaitu *guaranteed saving* dan *shared saving*. Baik *guaranteed saving* maupun *shared saving* memerlukan perhitungan potensi penghematan energi yang akurat [17]. Konsep *shared savings* merupakan model pengantar yang baik bagi pasar yang sedang berkembang karena pemilik proyek

menganggap tidak ada resiko keuangan yang harus mereka tanggung. Perhitungan potensi penghematan energi yang akurat merupakan kunci pada pembiayaan dengan skema EPC [18]

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif berdasarkan data sekunder yaitu data historis konsumsi energi listrik pada gedung kantor bertingkat terkondisikan yang berlokasi di Jakarta, data peralatan pemanfaat energi signifikan serta data sekunder lainnya yang diperlukan pada kajian ini.

Data sekunder yang diperoleh kemudian diestimasi potensi penghematan energinya dengan menggunakan perhitungan potensi penghematan energi tanpa memperhitungkan faktor interdependensi dan estimasi perhitungan potensi penghematan energi dengan memperhitungkan faktor interdependensi.

Berdasarkan kedua metode estimasi yang digunakan tersebut maka akan dibandingkan berapa persen perbedaannya. Apakah pengaruh interdependensi pada penelitian dengan lokus di gedung kantor bertingkat di Jakarta, akan memperbesar atau memperkecil estimasi potensi penghematan energi untuk memperoleh estimasi penghematan energi yang lebih akurat yang diperlukan untuk pembiayaan proyek konservasi energi dengan skema pembiayaan EPC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ikhtisar Gedung

Sebuah gedung perkantoran bertingkat terkondisikan atau ber-AC. Gedung ini sudah beroperasi selama 35 tahun terdiri dari ruangan kerja, ruang meeting dan area pameran, yang tersebar di 20 tingkat dengan total luas lantai 40.700 m² terkondisikan atau ber-AC. Bangunan kantor tersebut memiliki rasio jendela- dinding – jendela (*window-to-wall ratio*) yang memungkinkan sinar matahari dengan tingkat radiasi yang tinggi untuk memasuki bangunan dan menciptakan panas yang harus dihilangkan oleh sistem *air conditioning* (AC) untuk memberikan suhu dalam ruangan yang nyaman bagi para penghuninya.

Konsumsi energi listrik selama setahun 4.965.180 kWh. sebagai *baseline* pada kajian ini seperti yang termuat dalam Tabel 1 berikut..

Tabel 1 Konsumsi energi listrik sebagai *baseline*

Bulan	Konsumsi listrik		
	kWh	kCal	TOE
April 2018	433.860	373.119.600	37
Mei 2018	433.500	372.810.000	37
Juni 2018	436.500	375.390.000	38
Juli 2018	421.320	362.335.200	36
Agustus 18	358.680	308.464.800	31
Sept 18	444.060	381.891.600	38
Oktober 18	422.520	363.367.200	36
Nov 18	416.580	358.258.800	36
Des 18	429.420	369.301.200	37
Januari 19	393.300	338.238.000	34
Februari 19	415.860	357.639.600	36
Maret 19	359.580	309.238.800	31
Total	4.965.150	4.270.054.800	427
Rata-rata bulanan	413.765		
Rp/kWh (P2)	1.038		
Biaya listrik setahun	5.154.000.000		

Adapun prosentase konsumsi energi pada peralatan pemanfaat signifikan (Tabel 2).

Tabel 2. Prosentase konsumsi energi peralatan pemanfaat signifikan berdasarkan data historis selama setahun

No.	Peralatan	kWh setahun	Prosentase (%)
1.	Tata cahaya	1.244.093	25
2.	AHU	1.058.958	21
3.	Chiller	1.547.018	31
4.	Lainnya	1.115.111	22

Pemanfaat energi signifikan pada gedung tersebut tata cahaya 25%, tata udara (AHU dan *chiller*) 52% dan peralatan lainnya 22%.

Peralatan dan Sistem Pemanfaat Energi

Tata Cahaya

Pencapaian dalam Gedung perkantoran sebagai lokus penelitian terdiri dari 7819 lampu yang memberikan pencapaian dalam ruangan terdiri dari lampu tabung TL8 40 Watt dan 20 Watt serta 18 Watt CFL dengan ballast konvensional. Jam operasi di dalam ruangan adalah 2,250 jam operasi selama setahun. Tidak ada pengatur keredupan (*diming control*), sensor pencapaian eksternal (*external lighting sensor*), maupun alat pengatur waktu untuk mengendalikan pencapaian (*control lighting timer*)

Tata Udara

Ada empat *chiller*. Tiga *chiller* memiliki kapasitas 350 TR dan satu *chiller* memiliki kapasitas 300 TR. *Chiller* #4 adalah salah satu model *chiller* yang sudah tua dengan efisiensi yang sangat rendah yaitu 1,1 kW/TR. Detil *chiller* dan cooling tower (Tabel 3).

Tabel 3. Chiller dan Cooling Tower

Chiller	TR	Baseline jam operasi chiller	kW/TR
1	300	2018	0,82
2	300	2030	0,82
3	300	1465	0,88
4	230	650	1,1
Rata rata kW/TR			0,858

Instalasi chiller tersebut mengoperasikan 2 chiller setiap hari dari pukul 06.00 sampai 18.00 (dengan dua lainnya digunakan untuk cadangan/*back up*). Chiller # 4 adalah chiller tua dengan tingkat efisiensi energi yang sangat rendah yaitu 1.1. kW/TR. Konsumsi energi listrik chiller (Tabel 4).

Tabel 4 Konsumsi energi listrik chiller

Chiller	TR	Baseline TR jam	Baseline kWh/tahun.
1	300	605.400	496.428
2	300	609.000	499.380
3	300	439.500	386.760
4	230	149.500	164.450
Total		1.803.400	1.547.018

Ada 26 *Air Handling Unit* (AHU), satu unit per lantai yang mendistribusikan udara dingin yang dihasilkan dari chiller ke seluruh gedung. Setiap AHU dilengkapi dengan kipas yang digerakkan oleh motor dengan kapasitas mulai dari 25 sampai 30 HP. Motor yang dipasang adalah jenis *fixed speed motor* yang tidak dapat mengubah kecepatan kipas pada saat beban pendinginan berubah di dalam ruangan yang dilayani oleh masing – masing AHU. Ada katup – katup arah yang terpasang, namun saat ini sebagian besar dilewati (di-bypass) sehingga tidak beroperasi. Kondisi eksisting AHU (Tabel 5).

Tabel 5. AHU Eksisting AHU

AHU	Unit	Total
AHU dioperasikan 26 unit	Units	26
Round Motor Fan (full speed)	rpm	1700
Jam operasi setahun	jam/tahun	2300
Konsumsi energi AHU fan motor	kWh/tahun	1.058.958

Rekomendasi peluang peningkatan kinerja energi pada Gedung kantor yang diperoleh berdasarkan rekomendasi dari laporan audit energi sering disebut sebagai *energy saving measures* (ESMs). Rekomendasi peluang peningkatan kinerja energi yaitu;

- Retrofit lampu (TL 40W dengan LED 18 W @ 6745 lampu), (T-5 20 W dengan LED 8 W @ 665 lampu), (CFL 18 W dengan LED 9 W @ 3845), (PL-C 18 W dengan LED 14 W @ 117 lampu). Dengan retrofit lampu yang efikasinya lumen/watt lampu lebih besar dari sebelumnya akan

mengurangi kWh listrik dengan tingkat pencahayaan yang sesuai dengan kebutuhan

- Instalasi sensor pada tata cahaya di ruang – ruang rapat. Instalasi sensor ini akan memudahkan pengoperasian lampu sehingga jam nyala lampu sesuai kebutuhan rapat.
- Memasang VSD di AHU agar udara sejuk yang didistribusikan ke ruangan ruangan sesuai dengan kebutuhan sehingga tidak pasokan udara dingin yang berlebih yang tidak sesuai dengan kebutuhan
- Mengganti chiller yang boros energi 1.1 kW/TR dengan *chiller* yang efisien energi 0,6 kW/TR

Perhitungan Estimasi Penghematan Energi tanpa Memperhitungkan Faktor Interdependensi Interdependensi faktor adalah kejadian dimana apabila beberapa ESMs diimplementasikan secara bersamaan akan memberikan pengaruh. Pengaruh itu bisa bersifat positif (menguntungkan) maupun bersifat negatif (merugikan).

Perhitungan estimasi penghematan energi belum memperhitungkan faktor interdependensi (Tabel 6).

Tabel 6. Estimasi penghematan energi tanpa interdependensi

No	ESM	Estimasi penghematan setahun			Pay back (tahun)
		kWh setahun	Juta (Rp) Biaya	CAP EX	
1a	Retrofit tata cahaya-indoor	693.259	720		
1b	Pasang sensor tata cahaya di ruang rapat	29.793	31	1.298	1,80
2.	Memasang VSD di AHU	326.45	339	1.187	3,50
3.	Mengganti chiller 1,1 kW/TR dengan chiller 0,6 kW/TR	650.618	675	2.895	4,29
Total		1.700.014	1.765	5.380	3,00

Perhitungan Estimasi Penghematan Energi dengan Memperhitungkan Faktor Interdependensi

Interdependensi pada studi kasus ini dihitung berdasarkan pengaruh yang timbul apabila dua atau lebih ESM diimplementasikan secara bersamaan. Dalam kasus ini retrofit lampu eksisting dengan lampu LED akan mengurangi *cooling load* pada sistem tata udara gedung. Selanjutnya pemasangan VSD di AHU akan mengurangi laju alir udara sejuk sehingga juga akan mengurangi *cooling load* pada gedung. Beberapa data asumsi dan adjustmen untuk memperkirakan pengaruh interdependensi yaitu kinerja chiller 1, 2 dan 3 dalam kW/TR adalah 0,8.

Konversi kWh ke TR 0,2834. Jumlah AHU 26. Kapasitas fan motor AHU sesuai *name plate* bervariasi. Aktual jam kerja setahun 2300 jam. *Fan motor loading* 85%, Daya (*horse power*) fan motor bervariasi. Konversi HP ke kW 0,75. Jam operasi cuaca hujan 690 jam. Jam operasi cuaca terang 1610 jam. Putaran motor fan original 1.700 rpm, pada cuaca tidak hujan 1.615 dan di cuaca hujan 1.145 rpm. Perhitungan estimasi penghematan energi dengan memperhitungkan faktor interdependensi (Tabel 7).

Tabel 7. Estimasi penghematan energi dengan memperhitungkan faktor interdependensi

No	ESM	Estimasi penghematan setahun			Pay back (tahun)
		kWh setahun	Juta (Rp) Biaya	CAP EX	
1a	Retrofit tata cahaya-indoor	850.958	883	1.298	1,50
1b	Pasang sensor tata cahaya di ruang rapat	36.570	38		
2.	Memasang VSD di AHU	400.580	416	1.187	2,90
3.	Mengganti chiller 1,1 kW/TR dengan chiller 0,6 kW/TR	650.618	675	2.895	4,30
Total		1.938.727	2.012	5.380	2,70

Perbandingan Estimasi Potensi Penghematan Energi tanpa dan dengan Memperhitungkan Faktor Intredependensi

Untuk ESM-1 yaitu retrofit tata cahaya indoor dari tipe lampu sebelumnya dengan LED akan mengurangi *cooling load* sebesar 157.700 kWh setahun sehingga estimasi penghematan energi yang semula 693.259 kWh menjadi 850.958 kWh. Pemasangan sensor pada tata cahaya akan mengurangi *cooling load* sebesar 6.777 kWh setahun sehingga estimasi penghematan yang semula 29.793 kWh setahun menjadi 36.570 kWh setahun. Total estimasi penghematan energi pada tata cahaya yang semula 850.958 kWh setahun menjadi 887.528 kWh setahun. Dengan demikian terjadi kenaikan estimasi penghematan energi sebesar 4,29%.

Untuk ESM-2 yaitu memasang *variable speed drive* (VSD) di AHU akan mengurangi *cooling load* sebesar 74.236 kWh setahun. Estimasi penghematan energi yang semula 326.345 kWh setahun menjadi 400.580 kWh. Terjadi kenaikan sebesar 22,75%. Secara total pengaruh perhitungan faktor interdependensi pada estimasi potensi penghematan energi sebesar 14,04%. Adapun potensi penghematan energi yang tanpa

memperhitungkan pengaruh interdependensi adalah 1.700.014 kwh setahun atau 34,23% dari baseline konsumsi energi 4.965.150 kWh setahun. Sedangkan potensi penghematan energi dengan memperhitungkan pengaruh interdependensi sebesar 1.938.727 kWh setahun atau 39,05% dari *baseline* konsumsi energi.

Perbedaan metode perhitungan dengan memperhitungkan interdependensi dan tanpa memperhitungkan interdependensi sebesar 4,82% yaitu sekitar 238.713 kWh. Apabila dikalkulasi ke dalam biaya energi listrik dengan tarif P-2 Rp. 1.038/kWh maka perbedaannya sekitar Rp.247.784.094 dalam hal ini tidak termasuk pajak dan biaya tambahan lainnya, juga tidak memperhitungkan tarif LWBP (luar waktu beban puncak) dan WBP (waktu beban puncak).

Selain peluang peningkatan kinerja energi dengan ESM-1, ESM-2 dan ESM- 3 banyak juga peluang peningkatan kinerja energi lainnya yang bisa direkomendasikan. Namun demikian kajian ini fokus pada pemanfaat energi signifikan pada bangunan gedung yang menjadi lokus penelitian. Selain itu retrofit lampu dengan lampu LED juga memberikan pengaruh interdependensi lainnya yaitu kualitas daya listrik pada sistem kelistrikan bangunan gedung. Namun hal tersebut tidak dibahas dalam studi ini karena keterbatasan pengambilan data lapangan.

Perhitungan pengaruh interdependensi dalam memperkirakan potensi penghematan energi akan memberikan hasil estimasi yang berbeda bahkan pada ESM-2 studi ini memberikan kenaikan estimasi penghematan energi 22,75%. Apabila pengaruh interdependensi itu positif maka hal ini akan menggembirakan para pihak yang berkepentingan dalam implementasi proyek – proyek penghematan energi. Namun demikian perlu menjadi pertimbangan apabila pengaruhnya melemahkan. Sebagai contoh penggunaan *clear glass* pada selubung bangunan untuk pencahayaan alami dengan radiasi matahari yang masuk ke bangunan gedung yang akan membebani *cooling load* sehingga pengaruh interdependensi ini negatif, memperkecil estimasi potensi penghematan energi dan apabila pengaruh interdependensi pada kasus ini tidak diperhitungkan maka akan menimbulkan ketidakpastian dalam proyeksi penghematan energi dengan hasil perhitungan dan verifikasi penghematan energi pada tahun berjalan dengan model pembiayaan *energy performance contracting* (EPC) dengan skema *guaranteed saving* maupun *shared saving*.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari studi ini sebagai berikut:

1. Rekomendasi peluang peningkatan kinerja energi yang dilakukan secara bersamaan akan dapat memberikan pengaruh interdependensi dan hal ini dapat

- memperbesar potensi penghematan energi maupun memperkecil potensi penghematan energi.
2. Pada studi ini pengaruh perhitungan faktor interdependensi pada ESM-1 yaitu tata cahaya meningkat 4,29% dibandingkan perhitungan estimasi penghematan energi tanpa memperhitungkan pengaruh interdependensi. Pada ESM-2 yaitu pemasangan VSD pada AHU pengaruh perhitungan faktor interdependensi meningkat 22,72% dibandingkan tanpa memperhitungkan pengaruh interdependensi.
 3. Pada studi ini pengaruh interdependensi menunjukkan pengaruh positif artinya memperbesar estimasi potensi penghematan energi sebesar 4,82% yaitu sekitar 283.713 kWh.
 4. Estimasi potensi penghematan energi dari baseline konsumsi energi tanpa memperhitungkan interdependensi sebesar 1.700.014 kWh atau 34,23% dari baseline dan dengan memperhitungkan interdependensi sebesar 1.938.727 kWh atau 39,05%. Dengan demikian sangat penting memperhitungkan efek interdependensi baik yang positif maupun negatif pada estimasi potensi penghematan energi pada rekomendasi peluang peluang penghematan hasil audit energi dapat memperbesar potensi penghematan energi maupun memperkecil potensi penghematan energi.
 5. Pada studi ini pengaruh perhitungan faktor interdependensi pada ESM-1 yaitu tata cahaya meningkat 4,29% dibandingkan perhitungan estimasi penghematan energi tanpa memperhitungkan pengaruh interdependensi. Pada ESM-2 yaitu pemasangan VSD pada AHU pengaruh perhitungan faktor interdependensi meningkat 22,72% dibandingkan tanpa memperhitungkan pengaruh interdependensi.
 6. Pada studi ini pengaruh interdependensi menunjukkan pengaruh positif artinya memperbesar estimasi potensi penghematan energi sebesar 4,82% yaitu sekitar 283.713 kWh.
 7. Estimasi potensi penghematan energi dari baseline konsumsi energi tanpa memperhitungkan interdependensi sebesar 1.700.014 kWh atau 34,23% dari baseline dan dengan memperhitungkan

interdependensi sebesar 1.938.727 kWh atau 39,05%. Dengan demikian sangat penting memperhitungkan efek interdependensi baik yang positif maupun negatif pada estimasi potensi penghematan energi pada rekomendasi peluang peluang penghematan hasil audit energi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.Magrini, L. F. (2016). Energy audit of public building: the energy consumption of a University with modern and historical buildings. Some results. *Energy Procedia 101, Science Direct*, 169-175.
- [2] Akbarova Samira, M. N. (2018). Multi-disciplinary Energy Auditing of Educational Buildings in Azerbaijan: Case Study at a University Campus. *Science Direct-IPAC PaperOnLine 51-30*, 311-315.
- [3] Carlo F. Bonacina, G. M. (2015). Investment grade audit: a financial tool for the cost - effectiveness renovation of residential building. *Science Direct- Energy Procedia (70)*, 709-718.
- [4] K. Hassouneh, A.-S. J. (2014). Energy audit, an approach to apply the concept of green building for a building in Jordan. *Science Direct- Sustainable Cities and Society (14)*, 456-462.
- [5] Anders Larsen, M. J. (2019). Evaluation of energy audits and the regulator . *Science Direct-Energy Policy (207)*, 557-564.
- [6] Liu Xuezh, C. Y. (2011). Analysis of Enterprise Energy Audit Countermeasure in China. *Science Direct- Energy Procedia 5*, 1893-1897.
- [7] Ping Yung, K. C. (2013). An audit of life cycle energy analyses of buildings. *Science Direct - Habitat International (39)*, 43-54.
- [8] Colburn, B. K. (2019). *Converting Energy Saving Opportunities into Implemented Energy Saving Measures (ESMs)*. England: EPS Capital Corps.
- [9] Eleonora Annunziata, F. R. (2014). Enhancing energy efficiency in public buildings: The role local energy audit programmes . *Science Direct - Energy Policy (69)*, 364-373.
- [10] KESDM. (2009). *Peraturan Pemerintah Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi*. Jakarta: KESDM.
- [11] UNEP. (2016). *Tools for Energy Efficiency in Building*. Copenhagen: Copenhagen Centre of Energy Efficiency.
- [12] Giuliano Dall'O, A. S. (2012). The Green Energy Audit, a new procedure for sustainable auditing existing buildings integrated with LEED Protocols . *Science Direct - Sustainable Cities and Society (3)*, 54-65.
- [13] Stern, F. S. (2017). *Peak Demand and Time - Differentiated Energy Saving Cross- Cutting Protocols*. USA: NREL.

- [14] UNIDO. (2017). *Buku Panduan Pembiayaan Efisiensi Energi bagi Industri*. Jakarta: United Nations Industrial Organization.
- [15] Cosimo Marinosci, G. L. (2015). Preliminary energy audit of the historical building of the School of Engineering and Architecture of Bologna. *Science Direct-Procedia* (81), 64-75.
- [16] Murphy, L. (2014). The influence of energy audits on energy efficiency investments of private owner-occupied households in the Netherlands . *Science Direct- Energy Policy* (65), 398-407.
- [17] Granderson, J. P. (2018). *Guidance for Program Level M&V Plans:Normalized Meter Energy Usage Savings Estimation in Commercial Building*. Berkeley: LBNL.
- [18] UNIDO. (2017). *Buku Panduan Pembiayaan Proyek Efisiensi Energi bagi Lembaga Jasa Keuangan*. Jakarta: United Nation Industrial Development Organization.