

REKAYASA

**LAPORAN PENELITIAN
HIBAH BERSAING
TAHUN PERTAMA**

Nomor: 007/APHB/UKP/2012



**Studi Terintegrasi *Lighting Demand Side Management* Untuk Sektor Rumah
Tangga di Surabaya Dengan Metode BEU, AHP, LCC, dan EES**

Tim Peneliti:

Yusak Tanoto, S.T., M.Eng. NIDN 0715068101
Ir. Murtiyanto Santoso, M.Sc. NIDN 0709016101
Ir. Emmy Hosea, M.Eng.Sc. NIDN 0726116501

Dibiayai oleh Kopertis Wilayah VII Jawa Timur, Kementerian Pendidikan dan
Kebudayaan, Tahun Anggaran 2012
Sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian
Nomor: 0004/SP2H/PP/K7/KL/II/2012 tanggal 9 Pebruari 2012

UNIVERSITAS KRISTEN PETRA
NOPEMBER 2012

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

1. Judul Penelitian : Studi Terintegrasi *Lighting Demand Side Management* untuk Sektor Rumah Tangga di Surabaya dengan Metode *BEU, AHP, LCC*, dan *EES*.
2. Ketua Tim Peneliti :
- a. Nama Lengkap : Yusak Tanoto, S.T., M.Eng.
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. NIP/Golongan : 04020 / III D
- d. NIDN : 0715068101
- e. Strata/Jabatan Fungsional : Lektor
- f. Jabatan Struktural : Kepala Unit Perbekalan Universitas Kristen Petra
- g. Bidang Keahlian : Teknik Elektro – Manajemen Sistem Energi
- h. Fakultas/Program studi : Teknologi Industri / Teknik Elektro
- i. Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Petra
- j. Telepon/Faks/E-mail : 031-2983325 / - / tanyusak@peter.petra.ac.id
- k. Tim Peneliti

No	Nama dan Gelar Akademik	NIDN	Bid. Keahlian	Fak/Program Studi	Perguruan Tinggi
1.	Ir. Murtiyanto Santoso, M.Sc.	0709016101	Teknik Elektro – Renewable Energy	FTI / Teknik Elektro	UK Petra
2.	Ir. Emmy Hosea, M.Eng.Sc.	0726116501	Teknik Elektro – Sistem Energi Listrik	FTI / Teknik Elektro	UK Petra

3. Mahasiswa yang terlibat
- a. Jumlah mahasiswa yang terlibat : -
- b. Nama & NRP mahasiswa yang terlibat : -
4. Lokasi Penelitian : Universitas Kristen Petra, Surabaya
5. Kerjasama dengan Institusi lain
- a. Nama Institusi : -
- b. Alamat : -
6. Waktu penelitian : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
7. Pembiayaan
- a. Tahun Pertama : Rp. 47,500,000 (Disetujui)
- b. Tahun Kedua : Rp. 44,000,000 (Usulan)

Surabaya, 14 Nopember 2012

Mengetahui:
Dekan Fakultas Teknologi Industri

Ketua Peneliti,

Ir. Djoni Haryadi Setiabudi, M.Eng.
NIP 85-009, NIDN 0723016001

Yusak Tanoto, S.T., M.Eng.
NIP 04-020, NIDN 0715068101

Menyetujui,
Kepala LPPM

Prof. Ir. Lilianny Sigit Arifin, M.Sc., Ph.D
NIP. 84-011/NIDN. 0707116001

RINGKASAN DAN SUMMARY

Dalam beberapa tahun terakhir krisis energi listrik menjadi ancaman serius bagi pembangunan di Indonesia yang ditandai dengan seringnya terjadi pemadaman bergilir. Penambahan kapasitas pembangkit menjadi solusi jangka pendek maupun menengah. Untuk jangka panjang, hal ini akan berdampak negatif berkaitan dengan ketahanan energi dan lingkungan hidup apabila penggunaan energi terbarukan tidak ditingkatkan kapasitasnya.

Pengelolaan listrik di sisi *demand* yang merupakan bagian tak terpisahkan dari tahapan pengelolaan energi telah menjadi alternatif utama yang *sustainable* di beberapa negara karena biayanya lebih murah dan ramah lingkungan, seperti yang ditunjukkan oleh aktifitas *Demand Side Management* (DSM). Penerapan DSM secara efektif membutuhkan kajian yang komprehensif yaitu rancangan metodologi yang memperhatikan aspek teknis, ekonomis, preferensi pengguna, dan dampak lingkungan sekaligus.

Dalam penelitian ini, perencanaan aktifitas DSM untuk sektor rumah tangga di Surabaya melalui pemanfaatan lampu hemat energi dikaji secara komprehensif selama 2 tahun masa penelitian. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah terbentuknya kerangka metode *assessment* terintegrasi (*integrative assessment method*) untuk perencanaan penerapan aktifitas Lighting-DSM yang memperhatikan multi-dimensi, aspek teknis dan ekonomis, aspek preferensi, serta dampak lingkungannya, yang diimplementasikan pada studi kasus di Surabaya. Secara umum, metodologi yang akan digunakan pada penelitian ini dapat pula diaplikasikan untuk menentukan potensi penerapan Lighting-DSM di kota lain maupun untuk skala nasional. Sudut pandang preferensi *participant* digali melalui metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), sedangkan metode *Baseline Energy Use* (BEU) dipakai terutama untuk menentukan besarnya penggunaan listrik pada lampu dan jenis lampu terpasang, dan bersama analisa *Life Cycle Cost* (LCC) memberikan rekomendasi jenis lampu hemat energi, biaya, dan besarnya potensi *peak load* dan energi yang dapat direduksi. Sementara itu, manfaat reduksi emisi CO₂ ditentukan melalui metode *End-use Energy Saving* (EES).

Pada aktifitas penelitian tahun pertama, metode BEU dan AHP telah diimplementasikan, masing-masing untuk mendapatkan hasil analisa teknis dan preferensi, untuk selanjutnya digabungkan sehingga didapatkan besar penggunaan energi *existing*, potensi penghematan energi dan pengurangan beban puncak. Pengambilan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner terhadap 384 rumah tangga yang mewakili 762,248 rumah tangga pelanggan listrik PLN. Dari analisa AHP, didapatkan hasil strategi *Energy Efficiency* menempati urutan

pertama dengan nilai bobot 0.411, atau dapat diartikan memiliki komposisi preferensi sebesar 41.1%, yang terbesar dibandingkan dengan prosentase tiga preferensi strategi lainnya. Temuan ini konsisten dengan urutan preferensi kriteria, yaitu “Bersedia mengganti lampu dengan LHE”, “Bersedia mematikan lampu”, dan “Bersedia mengatur penyalaan lampu”, dengan kriteria dominan adalah “Bersedia mengganti lampu dengan lampu LHE”. Sementara itu strategi *Peak Clipping* dan *Load Shifting* masing-masing menempati urutan preferensi kedua dan ketiga dengan hanya sedikit perbedaan pada nilai bobotnya. Nilai pembobotan yang diperoleh dari analisa AHP untuk menentukan preferensi pola pembebanan *Lighting-DSM* dalam hal ini dapat dipersepsi sebagai prosentase jumlah responden yang memilih strategi tersebut. Jika seluruh responden mewakili seluruh pelanggan sektor rumah tangga yang diasumsikan bersedia mengikuti program ini, maka pada tahun 2010 di kota Surabaya ada sejumlah 762,248 rumah tangga yang bersedia mengikuti program *Lighting-DSM* ini. Dengan demikian, dapat disimpulkan jumlah rumah tangga yang memilih strategi pembebanan *Energy Efficiency* adalah sebesar 313,284 rumah tangga, yang memilih strategi pembebanan *Peak Clipping* adalah sebesar 164,646 rumah tangga, diikuti oleh sejumlah 157,785 rumah tangga dan 88,421 rumah tangga yang masing-masing memilih strategi *Load Shifting* dan *Valley Filling*.

Sementara itu, dari hasil analisa BEU yang bertujuan untuk mendapatkan karakteristik penggunaan energi dasar bagi data sampel, didapatkan beberapa informasi penting, diantaranya *share of ownership* untuk tiga jenis lampu di kota Surabaya masing-masing sebesar 4.7% untuk jenis lampu IL, 14.1% untuk jenis lampu TL, dan 77.4% untuk jenis lampu CFL. Jenis lampu 18 W CFL merupakan lampu yang paling banyak digunakan (16.6%) di seluruh rumah tangga, sementara itu lampu 25 W IL merupakan jenis lampu yang paling sedikit digunakan, yaitu sebesar 0.3%. Disamping itu, ada beberapa ukuran daya lampu yang kepemilikannya sedikit, dengan total komposisi 0.9% untuk jenis lampu IL, 1.1% untuk jenis lampu TL, dan 1.6% untuk jenis lampu CFL. Lampu 40 W TL merupakan jenis lampu yang rata-rata waktu penggunaannya terlama, yaitu 11 jam/hari. Sementara itu lampu 14 W CFL mempunyai rata-rata waktu penggunaannya paling pendek, yaitu 3.2 jam/hari. Selanjutnya, berdasarkan data daya lampu dan waktu penggunaan yang diperoleh dari survey, rata-rata beban penerangan atau dapat disebut juga kurva beban harian penerangan pada sektor rumah tangga dapat diestimasi, mempertimbangkan total penggunaan lampu dan *share of ownership* sebesar 96.4%, yaitu jenis dan ukuran lampu yang ketika survey terhitung lebih dari 10 buah untuk ukuran sampel. Beban puncak malam hari yang diakibatkan dari penggunaan lampu di tiap rumah tangga kota Surabaya terjadi pada pukul 18.00 – 20.00

dengan rata-rata beban masing-masing sebesar 97.8 W, 100.1 W, dan 97.5 W, dengan puncak beban pada pukul 19.00. Terlihat pula penggunaan daya relatif konstan dari pukul 10.00 – 14.00, yaitu berkisar 7.1 W – 7.9 W. Setelah itu, terdapat peningkatan konsumsi daya yang tajam dari pukul 15.00 – 18.00. Sementara itu estimasi pola pembebanan lampu untuk seluruh rumah tangga di kota Surabaya didapatkan dari kurva beban harian per rumah tangga dikalikan dengan jumlah partisipan program DSM, yang adalah seluruh rumah tangga terlistriki. Beban puncak untuk pembebanan lampu pada sistem kelistrikan di kota Surabaya terjadi pada pukul 19.00 dengan estimasi beban sebesar 76.3 MW.

Pada penelitian ini, dengan memperhatikan hasil analisa BEU dan AHP, potensi penghematan daya dan energi untuk studi kasus kota Surabaya diusulkan untuk dicapai melalui dua mekanisme (seperti alternatif prioritas pada analisa AHP) berikut ini: Mekanisme pertama: Penggantian jenis lampu pijar (*Incandescent Lamp*) dan lampu neon (*Fluorescent Lamp/Tubular Lamp*) dengan jenis lampu CFL dan TL yang berdiameter lebih kecil (lebih hemat energi); Mekanisme kedua: Mematikan lampu pada saat jam beban puncak (Konservasi energi melalui penerapan strategi *Peak Clipping*). Penerapan strategi *Peak Clipping* secara simultan dengan penggantian lampu memberikan dampak positif berupa: terdapatnya potensi tambahan penurunan pembebanan lampu per rumah tangga dan untuk seluruh rumah tangga saat beban puncak masing-masing sebesar 2.69 W (dari 62.43 W menjadi 59.74 W) dan 2.1 MW (dari 47.6 MW 45.5 MW), sehingga secara total potensi penurunan pembebanan lampu per rumah tangga dan untuk sektor rumah tangga saat beban puncak pukul 19.00 adalah masing-masing 40.39 W dan 30.8 MW, terdapat potensi pengurangan daya beban puncak sistem distribusi Surabaya (pada pukul 19.00) sebesar 40.8 MW, atau dari 525.7 MW menjadi 484.9 MW, yang diperoleh dari selisih pembebanan lampu sebelum dan sesudah diterapkannya strategi *Peak Clipping*. Dengan demikian, secara keseluruhan terdapat potensi penurunan beban puncak sistem sebesar kurang lebih 7.7%. Potensi penghematan terbesar didapatkan dari penerapan strategi *Peak Clipping* dan *Energy Efficiency* secara simultan, sebesar 476 GWh atau 27.2% dari kondisi pembebanan lampu *existing*. Dari hasil analisa dengan metode BEU, terlihat bahwa potensi penghematan melalui mekanisme penggantian beberapa lampu *existing* dengan lampu hemat energi (CFL dan TL-T8) tidak memberikan dampak yang cukup besar dari sisi kuantitas penghematan. Hal ini terjadi karena proporsi kepemilikan lampu jenis IL dan TL yang diusulkan untuk diganti sangat sedikit dibandingkan dengan share kepemilikan jenis lampu CFL yang sudah secara luas dipergunakan. Namun demikian, apabila mekanisme ini digabungkan dengan strategi *Peak Clipping*, hasil penghematan energinya akan meningkat lebih dari 100%.

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karuniaNya yang memungkinkan Penelitian Hibah Bersaing (PHB) dengan judul “Studi Terintegrasi *Lighting Demand Side Management* untuk Sektor Rumah Tangga di Surabaya dengan Metode BEU, AHP, LCC, dan EES” ini dapat dilaksanakan dengan baik. Buku ini disusun sebagai bentuk laporan dan pertanggungjawaban pelaksanaan PHB untuk tahun pertama, dari total dua tahun yang telah direncanakan. Dari judul yang diberikan, terdapat dua fokus metode yang dibahas pada buku laporan ini, yaitu metode BEU dan metode AHP. Dua metode yang lain direncanakan untuk diaplikasikan pada penelitian lanjutan di tahun ke dua sehingga akan terbentuk sebuah kerangka *assessment* multi-dimensi yang utuh yang dapat digunakan sebagai pedoman perencanaan aktifitas *Lighting-DSM* di sektor rumah tangga.

Pada kesempatan ini, tim peneliti ingin menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI atas kesempatan dan kepercayaan yang diberikan sehingga tim peneliti dapat meraih hibah PHB 2012, yang merupakan tahun pertama dari rencana dua tahun penelitian. Terima kasih juga kami sampaikan kepada para reviewer, baik dari DIKTI maupun reviewer internal UK Petra yang telah bekerja keras mereview proposal penelitian, monitoring internal dan eksternal, hingga monitoring terpusat dengan dedikasi tinggi, sehingga buku laporan penelitian ini dapat terselesaikan. Kami juga berterima kasih kepada pimpinan UK Petra, LPPM UK Petra, dan PT. PLN (Persero) APD Jawa Timur atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan. Kami juga ingin menyampaikan terima kasih atas dukungan dan pengertian yang telah diberikan oleh keluarga kami masing-masing sehingga seluruh proses penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Akhirnya, kami berharap agar hasil yang telah dicapai dari penelitian tahun pertama ini beserta artikel-artikel yang telah/akan dipublikasikan dapat berguna bagi kemajuan bangsa dan negara khususnya dapat menjadi salah satu referensi ilmiah bagi sektor ketenagalistrikan nasional dan kemajuan pendidikan dan penelitian di Indonesia.

Surabaya, Nopember 2012

Atas nama Tim Peneliti

Yusak Tanoto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN	ii
RINGKASAN DAN SUMMARY	iii
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Sasaran/Luaran	2
1.4. Lokasi Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. <i>Demand Side Management</i>	3
2.2. <i>Analytic Hierarchy Process</i>	6
2.3. <i>Life Cycle Cost</i>	9
2.4. <i>Baseline Energy Use</i>	10
2.5. <i>Analisa End-use Electricity Saving</i>	10
BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	11
3.1. Tujuan Penelitian	11
3.2. Manfaat Penelitian	11
BAB 4 METODE PENELITIAN	13
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN	19
5.1. Rancangan Metode <i>Assessment</i> Terintegrasi	19
5.2. Profil Responden Survey	22
5.3. Analisa Penentuan Preferensi Pola Pembebanan Lampu	26
5.4. Analisa Penggunaan Energi Dasar	34
5.5. Potensi Penghematan Daya dan Energi	38
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	48
DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR ISI (LANJUTAN)

LAMPIRAN	53
DRAFT ARTIKEL ILMIAH	54
SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hasil aktifitas DSM pada sektor rumah tangga di Mexico (UNFCCC, 1997)	5
Tabel 2.2. Hasil aktifitas DSM di India (Shrestha, et.al, 1998)	5
Tabel 4.1. Jumlah rumah tangga dan rasio elektrifikasi di kota Surabaya tahun 2010	14
Tabel 4.2. Urutan aktifitas, tahapan, luaran, dan indicator penelitian tahun pertama	16
Tabel 4.3. Alokasi waktu penelitian tahun pertama	18
Tabel 5.1. Komposisi responden survey menurut kelompok tarif dan pembayaran listrik	24
Tabel 5.2. Pemadaman dan lama waktu pemadaman listrik	25
Tabel 5.3. Rekapitulasi strategi pembebanan L-DSM terpilih untuk setiap wilayah Surabaya	33
Tabel 5.4. Karakteristik penggunaan lampu di Surabaya (Survey 2012)	35
Tabel 5.5. Estimasi penghematan daya dari penggantian lampu IL dengan CFL	41
Tabel 5.6. Penggunaan energi pada beban lampu dan potensi penghematannya pada aktifitas Lighting-DSM di Surabaya	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Alternatif pembebanan pada aktifitas DSM	3
Gambar 2.2. Tipikal 3 level hirarki pada metode AHP	6
Gambar 2.3. Skala kepentingan untuk perbandingan berpasangan	7
Gambar 2.4. Hasil peringkat kriteria dan bobot gabungan	8
Gambar 2.5. Perbandingan peringkat strategi DSM berdasarkan pendekatan AHP	9
Gambar 2.6. Metode analisa EES	10
Gambar 5.1. Usulan kerangka <i>assessment</i> multi-dimensi untuk aktifitas <i>Lighting</i> -DSM di sektor rumah tangga	21
Gambar 5.2. Pilihan strategi pola pembebanan lampu pada form kuesioner	22
Gambar 5.3. Komposisi penyebaran kuesioner penggunaan lampu di Surabaya	23
Gambar 5.4. Prosentase rumah tangga yang pernah mengalami pemadaman listrik	25
Gambar 5.5. Hirarki model pengambilan keputusan yang diusulkan pada penentuan pola pembebanan <i>Lighting</i> -DSM di sektor rumah tangga	27
Gambar 5.6. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan secara total di Surabaya	28
Gambar 5.7. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya	28
Gambar 5.8. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Selatan	29
Gambar 5.9. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Selatan	29
Gambar 5.10. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Utara	29
Gambar 5.11. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Utara	30
Gambar 5.12. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Barat	30
Gambar 5.13. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Barat	30
Gambar 5.14. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Timur	31
Gambar 5.15. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Timur	31
Gambar 5.16. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Pusat	31
Gambar 5.17. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Pusat	32
Gambar 5.18. Komposisi rumah tangga dan strategi pembebanan L-DSM yang dipilih untuk seluruh wilayah Surabaya	33

Gambar 5.19. Rata-rata lama waktu penggunaan lampu jenis IL di Surabaya	36
Gambar 5.20. Rata-rata lama waktu penggunaan lampu jenis TL di Surabaya	36
Gambar 5.21. Rata-rata lama waktu penggunaan lampu jenis CFL di Surabaya	37
Gambar 5.22. Tipikal kurva beban harian lampu per rumah tangga di Surabaya	37
Gambar 5.23. Tipikal pembebanan lampu di sektor rumah tangga di Surabaya	38
Gambar 5.24. Estimasi <i>modified system load</i> untuk area distribusi Surabaya	42
Gambar 5.25. Estimasi kurva beban harian pembebanan lampu per rumah tangga (atas) dan seluruh rumah tangga dengan <i>Peak Clipping</i> tanpa melakukan penggantian lampu (bawah)	44
Gambar 5.26. Estimasi kurva beban harian pembebanan lampu per rumah tangga (atas) dan seluruh rumah tangga dengan <i>Peak Clipping</i> dan penggantian lampu (bawah)	45

DAFTAR LAMPIRAN

Biodata peneliti	53A
Form kuesioner penggunaan lampu di rumah tangga	53B
Data pendukung	53C
- BPS,	
- Data kurva beban sistem,	
- Rekapitulasi responden,	
- Perhitungan metode BEU,	
- Perhitungan penggunaan dan potensi penghematan energi	
Software Expertchoice® 11.5 (scan tampilan CD)	53D

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir krisis energi listrik menjadi ancaman bagi pembangunan di Indonesia. Hal ini ditandai dengan seringnya terjadi pemadaman listrik bergilir. Untuk jangka pendek dan menengah, pengelolaan listrik di sisi suplai melalui penambahan kapasitas pembangkit merupakan solusi penyediaan listrik melalui program 10,000 MW (PLN, 2010). Namun demikian, penambahan kapasitas pembangkit berbahan bakar *fossil* mengancam ketahanan energi nasional sehingga pengelolaan potensi sumber energi terbarukan harus diikutsertakan (UU Energi No. 30/2007). Selain itu, diperlukan juga pengelolaan listrik di sisi permintaan melalui program konservasi dan efisiensi sebagai bagian dari tahapan pengelolaan energi.

Demand Side Management (DSM) telah menjadi alternatif pilihan utama untuk mengelola penggunaan energi listrik secara efisien di sisi pelanggan melalui investasi pada infrastruktur energi yang efisien dan pengelolaan beban, sehingga penambahan kapasitas pembangkit listrik dapat dihindari ataupun ditunda (Bonneville dan Rialhe, 2006). Seruan penerapan DSM sebagai program utama kebijakan energi datang dari forum kerjasama *Economic and Social Commission for Asia Pasific* (ESCAP) pada acara *Asia Pacific Business Forum* di Bangkok, April 2008 (DESDM, 2008), dimana Indonesia menjadi salah satu anggotanya.

Di Indonesia, studi penerapan program DSM telah dilakukan untuk area Surabaya Selatan (Hidayat, 2004). Namun demikian, potensi penghematan energi ditentukan melalui metodologi yang sangat sederhana untuk area cakupan yang tidak terlalu luas. Dampak lingkungan berupa potensi mitigasi CO₂ juga tidak dievaluasi.

Pada penelitian ini akan dilakukan studi perencanaan penerapan program DSM untuk sektor rumah tangga menggunakan lampu hemat energi untuk area kota Surabaya melalui survey dan analisa dengan memperhatikan aspek teknis, ekonomis, preferensi pengguna, dan lingkungan melalui penerapan metode *Baseline Energy Use* (BEU), metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), analisa *Life Cycle Cost* (LCC), dan metode *End-use Electricity Saving* (EES). Dengan metodologi perencanaan yang komprehensif, diharapkan potensi manfaat penerapan program DSM ini dapat diperkirakan dengan lebih baik sehingga

diperoleh gambaran yang lebih realistis dan dapat menjadi landasan yang kuat untuk melaksanakannya.

1.2. Perumusan Masalah

- Belum adanya kerangka metode yang komprehensif yang digunakan untuk *assessment* potensi program *lighting demand side management* di sektor rumah tangga ditinjau dari sudut pandang kebutuhan teknis, preferensi pengguna, biaya keseluruhan / total sistem (*life cycle*), dan mitigasi emisi.
- Belum adanya kerangka metode yang komprehensif ini menyebabkan kesulitan bagi:
 - a. Pemerintah, dalam mengidentifikasi dan menentukan ketepatan dan efektifitas program *demand side management* ditinjau dari berbagai aspek.
 - b. PLN, dalam upayanya memberikan pelayanan penyaluran listrik kepada konsumen rumah tangga ditengah keterbatasan suplai pembangkitan listrik, sehingga strategi penghematan yang diambil hanya bersifat parsial dan jangka pendek.

1.3. Sasaran / Luaran

Luaran penelitian yang akan dihasilkan adalah:

- Artikel-artikel yang diterbitkan di jurnal internasional atau jurnal nasional terakreditasi, artikel yang dipeblikasikan pada seminar nasional dan seminar internasional, yang membahas kerangka / framework metode *assessment* terintegrasi (*integrated assessment method*) yang bersifat komprehensif dimana memperhatikan aspek teknis, ekonomis, preferensi, dan lingkungan, yang dapat diaplikasikan pada perencanaan kegiatan DSM, yang dapat digunakan oleh pengambil keputusan, dalam hal ini pemerintah dan PLN, untuk merencanakan program DSM di sektor rumah tangga
- Laporan penelitian berupa hasil studi kasus penerapan *integrated assessment method* yang diaplikasikan untuk perencanaan program *Lighting DSM* di Surabaya.

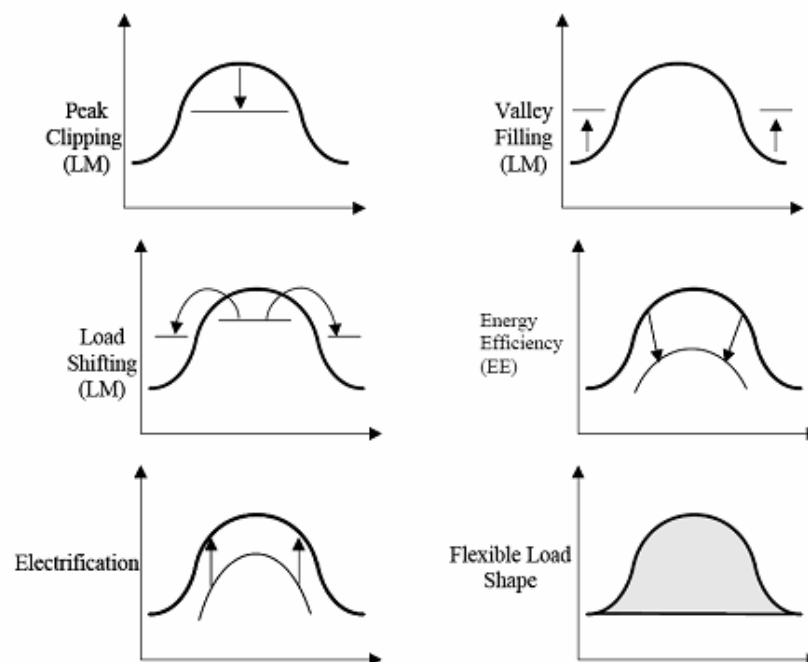
1.4. Lokasi Penelitian

Pembuatan metode *assessment* akan dipusatkan di institusi peneliti, yaitu UK Petra Surabaya. Untuk penggalian data dan analisa kebutuhan pengguna akan dilakukan *survey* di beberapa penyedia konten jurnal ilmiah.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Demand Side Management

Konsep *Demand Side Management* (DSM) diperkenalkan pertama kali oleh Gellings dan Chamberlin (1988). DSM meliputi kegiatan sistematis yang dilakukan oleh perusahaan listrik dan pemerintah yang dirancang untuk mengubah jumlah dan/atau waktu penggunaan listrik di sisi pelanggan termasuk di dalamnya penggunaan peralatan hemat energi (Gellings dan Chamberlin, 1993). DSM memiliki dua tujuan utama yang saling berkaitan. Pertama, untuk mengurangi kebutuhan beban puncak sehingga penambahan kapasitas pembangkit dapat dihindari. Tujuan kedua adalah untuk mengurangi penggunaan listrik untuk mengatasi masalah energi dengan mengubah jumlah dan pola konsumsi energi listrik (Surapong, 2000). Enam tujuan aktifitas DSM terkait pola pembebanan listrik diilustrasikan pada Gambar 2.1 (CRA, 2005).



Gambar 2.1 Alternatif pembebanan pada aktifitas DSM

Pada Gambar 2.1, *Peak Clipping*, *Valley Filling*, dan *Load Shifting* diklasifikasikan sebagai tujuan manajemen beban. *Energy Efficiency* meliputi pengurangan atas semua penggunaan energi dan disebut juga sebagai konservasi energi. Secara teknis, keduanya

berbeda karena tingkat layanan energi (misalnya, tingkat pencahayaan di kamar) yang dipertahankan dengan cara efisiensi energi namun mengalami penurunan dalam konservasi energi. *Electrification* meliputi pembangunan beban atas semua jam dan sering terkait dengan program retensi pelanggan dari perspektif penyedia energi. Sementara itu, *flexible load shape* membuat kurva beban responsif terhadap kondisi keandalan beban (CRA, 2005).

Sektor rumah tangga sebagai salah satu pelanggan listrik memiliki pertumbuhan “*faster than average*” dibandingkan rata-rata permintaan listrik pada sektor lainnya. Sektor ini diidentifikasi sangat bermasalah untuk perusahaan listrik karena memberikan kontribusi langsung pada tingginya beban puncak. Di sebagian besar negara Asia, beban puncak terjadi di malam hari sebagai akibat dari pemakaian lampu dan penggunaan peralatan listrik lainnya (Schipper dan Meyers, 1991).

Penggunaan lampu hemat energi merupakan salah satu pilihan aktifitas DSM yang populer karena sifatnya yang berdiri sendiri dan merupakan komponen pemanfaat energi akhir sehingga jenis aktifitas ini cenderung relatif sederhana untuk dirancang dan diterapkan dengan biaya yang relatif murah. Banyak perusahaan listrik menargetkan pemasangan lampu hemat energi sebagai upaya awal aktifitas DSM karena besarnya penggunaan dan potensi manfaatnya (Mykytyn, 1995).

Aktifitas DSM yang efektif telah diterapkan di Pulau Guadeloupe, sebuah wilayah Perancis yang dilayani oleh Electricite de France (EDF). Dengan harga eceran listrik sebesar US\$ 0.11/kWh (50% dari biaya pembangkitan yang sebenarnya), sebanyak 358,000 *Compact Fluorescent Lamp* (CFL) ditargetkan terjual untuk 44.000 rumah tangga dengan rata-rata 8 lampu per rumah dalam sebuah aktifitas DSM tahun 1992. Dengan biaya program sebesar US\$ 460,000, EDF menghemat US\$ 3.5 juta per tahun untuk bahan bakar dan memperkirakan penurunan beban puncak sebesar 15 MW (Boyle, 1996).

Thailand menjadi negara Asia pertama yang secara formal mengadopsi aktifitas DSM sebagai *masterplan* nasional. Aktifitas DSM melalui pemasangan CFL dilaksanakan mulai September 1993 untuk jangka waktu lima tahun hingga 1997. Selama jangka waktu ini, CFL didistribusikan dengan harga subsidi melalui pembelian massal. Penjualan 220,000 CFL dengan *budget* US\$ 189 juta menghasilkan penghematan beban puncak 295 MW dan penghematan energi sebesar 1,564 GWh per tahun sampai dengan Mei 1997. Hal ini setara dengan lebih dari 1 juta ton reduksi CO₂ dan penghematan investasi pembangkit sebesar US\$ 295 juta (EGAT, 1997). Di Mexico, hasil yang dicapai oleh *Mexico High Efficiency Lighting Pilot Project* seperti yang dilaporkan oleh UNFCCC (1997) terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Hasil aktifitas DSM pada sektor rumah tangga di Mexico (UNFCCC, 1997)

Lampu semula (W)	Hampu hemat energi (W)	Jumlah lampu yang diganti	Pembangkitan yang dapat dihindari (GWh)	Beban puncak yang dapat dihindari (MW)	Reduksi CO ₂ (kT/tahun)
Pijar 60	CFL 15	120,108	5.6	8	1.1
Pijar 75	CFL 20	150,439	6.9	9	1.4
Pijar 100	CFL 23	174,662	7.5	10	1.5

Di India, jenis lampu pijar yang banyak digunakan mempunyai rating daya 40, 60, dan 100 W. Kegiatan DSM adalah mengganti lampu-lampu tersebut masing-masing dengan CFL 13, 18, dan 23 W yang menghasilkan ukuran lumen yang sama untuk sektor rumah tangga, reduksi beban puncak dan emisi CO₂ dapat tercapai secara signifikan seperti terlihat pada Tabel 2.2 (Shrestha et al, 1998).

Tabel 2.2: Hasil aktifitas DSM di India (Shrestha et al, 1998)

Lampu semula (W)	Hampu hemat energi (W)	Pembangkitan yang dapat dihindari (TWh)*	Beban puncak yang dapat dihindari (MW)**	Reduksi CO ₂ * (juta Ton /tahun)
Pijar 40	CFL 13	56.1	1,465	43.6
Pijar 60	CFL 18	280.6	7,399	218.4
Pijar 100	CFL 23	702.4	19,946	522.7

*selama 1997-2015, **pada 2015

Studi DSM terdahulu dengan tujuan *peak load clipping* pada sektor rumah tangga dilakukan untuk area studi Pulau Madura lewat konservasi energi dengan lampu hemat energi (Narjanto, 2001). Dalam studi ini, dibahas kemungkinan penerapan konversi energi berupa penggunaan lampu hemat energi dengan pendekatan analisa ekonomi teknik dan marketing. Latar belakang permasalahannya adalah beban puncak di Madura mencapai 76.8 MW, sedangkan pada siang hari hanya 20 MW. Kondisi ini menunjukkan bahwa listrik belum dimanfaatkan secara optimal oleh bagian terbesar pelanggan yang adalah konsumen perumahan. Karakteristik beban ini diprediksi masih akan berlangsung 5 tahun sampai 10 tahun mendatang.

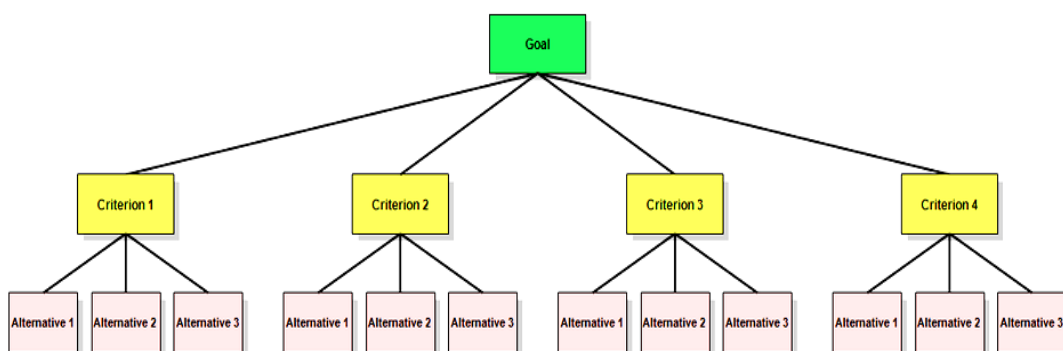
Studi lain dengan tujuan *valley filling* adalah perencanaan aktifitas DSM di PT. PLN (Persero) Cabang Situbondo (Suharto, 2001). Strategi yang dipakai adalah meningkatkan permintaan pada periode LWBP dan juga strategi konservasi energi dengan meningkatkan kesadaran masyarakat agar menggunakan peralatan listrik yang hemat energi. Pengaruh Program DSM untuk PLN adalah perbaikan *load factor*, peningkatan efisiensi, dan

berkurangnya biaya investasi dan operasi karena berkurangnya beban puncak. Sedangkan manfaat bagi pelanggan PLN adalah terjaminnya keandalan suplai dan ketersediaan energi listrik serta penghematan daya dan rekening listrik pelanggan PLN.

Studi terdahulu dengan area studi Surabaya Selatan dilakukan oleh Hidayat (2004). Aktifitas DSM dengan lampu hemat energi di analisa untuk area Surabaya Selatan. Pada studi ini, efisiensi daya ditentukan dengan metode yang sederhana, yaitu berdasarkan selisih penghematan karena penggantian jumlah lampu berbeda-beda sesuai tipe / ukuran rumah. Penghematan energi dihitung selama tiga tahun yaitu 2002-2004, dengan total penghematan kapasitas pembangkit sebanyak 18 MW.

2.2. Analytic Hierarchy Process

Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) pertama kali dikemukakan oleh Thomas L. Saaty (1980). Hingga saat ini, metode ini banyak digunakan untuk memecahkan berbagai masalah yang berkaitan dengan pengambilan keputusan, diantaranya: pengalokasian sumber daya, analisis keputusan manfaat atau biaya, menentukan peringkat beberapa alternatif, proyeksi perencanaan masa depan, dan permasalahan kompleks lainnya. Metode ini menggunakan kerangka matematis dimana prosedurnya terdiri atas tiga tahap, yaitu: penyusunan hirarki (*decomposition*), penentuan prioritas (*comparative judgment*), dan penghitungan bobot relatif. Sebuah hirarki AHP sederhana yang terdiri dari tiga kriteria ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Saaty, 1990).



Gambar 2.2. Tipikal 3 level hirarki pada metode AHP

Dalam prosedur AHP, hasil penilaian prioritas akan ditempatkan dalam bentuk matriks yang dinamakan matriks *pairwise comparison*. Agar diperoleh skala yang bermanfaat ketika membandingkan dua elemen, perlu dipahami tujuan yang diambil secara umum. Penyusunan

skala kepentingan berdasarkan pada tabel skala fundamental seperti pada Gambar 2.3 berikut ini (Deok, et.al., 2007).

Scale for pairwise comparison		
Scale	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one activity over another
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another
7	Very strong importance	An activity is favored very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate values between adjacent scale values	When compromise is needed
Reciprocals of above	If activity i has one of the above nonzero numbers assigned to it when compared with activity j , then j has the reciprocal value when compared with i	

Gambar 2.3 Skala kepentingan untuk perbandingan berpasangan.

Penggunaan metode AHP pada permasalahan ketenagalistrikan yang berhubungan dengan persoalan DSM dapat dilihat pada penelitian tentang pemilihan sektor pelanggan dalam penerapan DSM untuk pengaturan beban listrik di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur (Anindita, 2009). Pada studi ini, jenis program DSM yang dapat diterapkan ditentukan dari beberapa kriteria yang dicari dengan menggunakan metode Delphi. Selanjutnya dilakukan pembobotan untuk masing-masing kriteria tersebut dengan metode AHP. Dari penelitian ini diperoleh alternatif strategi berdasarkan kriteria yang didapat dari metode Delphi, yaitu penggantian lampu pijar biasa dengan CFL yang diperuntukkan bagi pelanggan umum.

Deok et.al (2007) meneliti penerapan AHP untuk program investasi DSM di Korea. Dalam penelitian ini, AHP digunakan untuk mengembangkan suatu penilaian ilmiah dan model rasional untuk program investasi DSM. Model AHP kemudian dikembangkan untuk mengatur prioritas penilaian indikator dan prioritas indikator penilaian dihitung berdasarkan

hasil survei menggunakan metode AHP. Model penilaian yang dikembangkan dari penelitian ini akan benar-benar digunakan untuk mengevaluasi hasil aktifitas investasi DSM yang sedang dilakukan oleh perusahaan gas Korea (Kogas) dan perusahaan pemanas distrik Korea (KDHC). Hasil evaluasi bobot gabungan dari kriteria-kriteria dari studi ini diperlihatkan pada Gambar 2.4 (Deok et.al. 2007). Dari hasil evaluasi, preferensi tertinggi adalah pada kriteria *rational planning*, diikuti berturut-turut oleh *effectiveness of the project*, *usefulness of project results*, dan *adequate project implementation*.

Composite weights of assessment indicators							
Criteria	Weight (①)	Rank	Sub-criteria	Weight (②)	Rank	Weight (③ = ① × ②)	Rank
1. Rational planning	0.329	1	1.1. Appropriateness of implementation strategies	0.472	1	0.155	1
			1.2. Appropriateness of the plan to the project goal	0.315	2	0.104	2
			1.3. Reasonable implementation schedule	0.127	3	0.042	11
			1.4. Appropriateness of project implementing units	0.087	4	0.029	16
2. Adequate project implementation	0.192	4	2.1. Adequate system of implementation	0.324	1	0.062	7
			2.2. Appropriateness of budget allocation/use	0.205	3	0.039	12
			2.3. Cooperation between project implementing units	0.205	3	0.039	12
			2.4. Efficiency of the system for diffusion of innovations resulting from project	0.267	2	0.051	9
3. Effectiveness of the project	0.274	2	3.1. Level of customer satisfaction	0.259	2	0.071	5
			3.2. Investment to cost productivity ratio	0.209	4	0.057	8
			3.3. Rate of goal achievement	0.235	3	0.064	6
			3.4. Investment to resource productivity ratio	0.296	1	0.081	4
4. Usefulness of project results	0.205	3	4.1. Contribution to energy demand-side management	0.149	4	0.030	15
			4.2. Useful value created from investment	0.447	1	0.092	3
			4.3. Contribution to future projects	0.245	2	0.050	10
			4.4. Contribution to other industry sectors	0.159	3	0.033	14

Gambar 2.4. Hasil peringkat kriteria dan bobot gabungan

Vashishtha dan Ramachandran (2005) mengevaluasi strategi implementasi DSM dari perspektif multi obyektif menggunakan AHP. Delapan strategi dan enam kriteria dipertimbangkan pada penelitian ini. Empat puluh perusahaan listrik, regulator, dan pemangku kepentingan konsumen disurvei dalam studi ini untuk mengetahui preferensi masing-masing pemangku kepentingan. Strategi terpilih dengan peringkat tertinggi dari perspektif perusahaan listrik dan pelanggan listrik adalah penyediaan *dedicated fund*. Perbandingan peringkat strategi untuk semua *stakeholders* diberikan pada Gambar 2.5 (Vashishtha dan Ramachandran, 2005).

Comparison of AHP and ranking approaches

	Utility		Regulators		Consumers	
	AHP	Ranking	AHP	Ranking	AHP	Ranking
Most preferred	Dedicated funds	Dedicated funds	Technical support	Technical support	Dedicated funds	Dedicated funds
	Technical support	Technical support	Obligation to perform.	Public benefit charges	Technical support	Technical support
	Public benefit charges	Revenue regulation	Tax exemption	Obligation to perform	Public benefit charges	Obligation to perform
	Tax exemption	Public benefit charges	Public benefit charges	Tax exemptions	Obligation to perform.	Revenue regulation
	Obligation to perform.	Obligation to perform	Revenue regulation	Dedicated funds	Promotion through Industry associations	Public benefit charges
	Revenue regulation	Tax exemptions	Dedicated funds	Promotion through industrial associations	Revenue regulation	Promotion through industrial associations
Least preferred	Promotion through industry associations	Promotion through industrial associations	Promotion through industry associations	Revenue regulation	Promotion through ESCOs	Tax exemptions
	Promotion through ESCOs	Promotion through ESCO	Promotion through ESCOs	Promotion through ESCO	Tax exemption	Promotion through ESCO

Gambar 2.5. Perbandingan peringkat strategi DSM berdasarkan pendekatan AHP

2.3. Life Cycle Cost

Metode *Life Cycle Cost* (LCC) dewasa ini banyak dipakai untuk mengevaluasi aspek potensi biaya menyeluruh yang mungkin ditimbulkan pada persoalan konservasi dan / atau efisiensi energi. Metode LCC memberikan gambaran yang lebih baik dibandingkan dengan metode ekonomis lainnya karena tidak hanya memperhatikan biaya pemasangan, namun juga biaya operasional dan *disposal* (Jeromin, et.al, 2009). Evaluasi biaya pada kasus *retrofitting* lampu dengan menggunakan metode LCC dapat menjadi dasar lanjutan bagi analisa *payback period* serta dapat mempertimbangkan berbagai jenis lampu.

Mahlia, et.al (2011) telah mengadakan studi potensi penghematan energi, analisa LCC, dan *payback period* sistem pencahayaan di gedung-gedung University of Malaya. Dari hasil survey terdapat hampir 90% sistem lampu di area studi merupakan lampu yang berjenis *fluorescent*. Pada penelitian ini, dilakukan analisa cost benefit sehingga perbandingan sistem lampu yang telah ada dan yang diusulkan dapat terlihat, dimana dengan penggunaan lampu hemat energi akan dapat menghemat energi dan biaya secara signifikan dan secara langsung membantu menurunkan *indirect emission*.

Sriamonkitkul, et.al (2010) meneliti biaya sistem pencahayaan menggunakan metode LCC untuk beberapa jenis lampu *fluorescent* dan beberapa jenis *ballast* di Thailand. Pengguna lampu dalam studi ini meliputi sektor rumah tangga, sektor jasa umum kecil, menengah, dan besar. Dari hasil studi, faktor-faktor sensitivitas yang mempengaruhi nilai

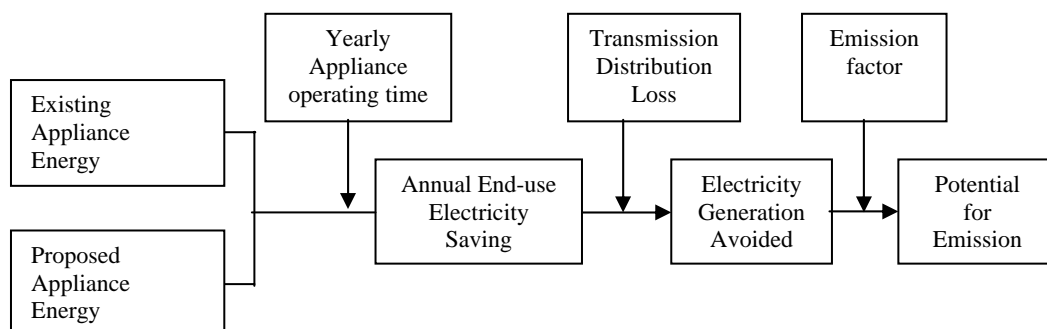
LCC diantaranya: tarif listrik, *lifetime* peralatan, dan harga lampu dan aksesorisnya, dimana besaran tarif listrik merupakan faktor dengan pengaruh terbesar. Dari penelitian disimpulkan penggunaan lampu fluorescent T-5 28 Watt menggantikan lampu T-8 36 Watt dapat mengurangi volume impor minyak dan beban puncak sebesar 1,890 MW per tahun atau setara dengan 8,708 GWh, yang berarti pula 4.4 juta ton CO₂ per tahun.

2.4. *Baseline Energy Use*

Analisa *Baseline Energy Use* (BEU) digunakan oleh Rumbayan (2001) untuk menentukan penggunaan *updated* energi listrik pada lampu sehingga reduksi *peak load* dan kebutuhan energi listrik di propinsi Sulawesi Utara akibat adanya aktifitas DSM lewat lampu hemat energi di sektor rumah tangga dapat diestimasi dengan tepat. Survey diadakan di Minahasa, Manado, dan Bitung. Tribwell dan Lerman (1996) mengadakan studi BEU untuk menyusun program lampu secara *cost-effective* di sektor perumahan dengan mengadakan survey di 161 rumah tangga di Northwest, AS. Metode BEU ini lebih lanjut dijelaskan pada Bab 4.

2.5. *Analisa End-use Electricity Saving*

Penggunaan analisa End-use Electricity Saving (EES) dikemukakan oleh Shrestha et. al (1998). Metode ini bertujuan untuk menentukan potensi mitigasi emisi CO₂ yang dihasilkan dari efisiensi peralatan listrik dengan memperhatikan parameter penghematan energi yang dihasilkan dan faktor emisi pembangkitan listrik. Faktor emisi sendiri dipengaruhi oleh fraksi pembangkit jenis *thermal* pada sistem pembangkitan dan faktor emisi CO₂ pada pembangkit jenis *thermal* tersebut. Secara garis besar, diagram alir analisa EES diilustrasikan pada Gambar 2.6 (Shrestha et.al. 1998).



Gambar 2.6. Metode analisa EES

BAB 3

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah terbentuknya kerangka metode *assessment* terintegrasi (*integrative assessment method*) untuk perencanaan penerapan aktifitas Lighting-DSM yang memperhatikan aspek teknis dan ekonomis, serta dampak lingkungannya, yang diimplementasikan pada studi kasus di Surabaya. Secara umum, metodologi yang akan digunakan pada penelitian ini dapat pula diaplikasikan untuk menentukan potensi penerapan Lighting-DSM di kota lain maupun untuk skala nasional. Adapun tujuan khusus yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui aspek teknis berkaitan dengan pola pemakaian lampu pada sektor rumah tangga di Surabaya, antara lain: komposisi jenis lampu dan beban lampu yang digunakan oleh *participant*, kurva beban harian lampu, *diversity factor*, dan *coincidence factor*, yang dapat diperoleh melalui analisa *Baseline Energy Use*.
2. Mengetahui preferensi pengambilan keputusan keikutsertaan masyarakat di sektor rumah tangga dalam program *Demand Side Management* (DSM) melalui analisa pengambilan keputusan berbasis multi kriteria menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process*. Adapun usulan strategi pembebanan yang dapat dipilih antara lain *peak load clipping*, *valley filling*, *load shifting*, dan *energy efficiency*, sehingga bersama-sama dengan penerapan analisa teknis dapat diketahui potensi reduksi beban puncak dan energi per tahun.
3. Mengetahui penggantian jenis lampu yang disarankan oleh analisa teknis ditinjau dari kajian kelayakan ekonomis menggunakan prinsip *Life cycle cost* dan analisa *cost-benefit*.
4. Mengetahui potensi reduksi emisi CO₂ per tahun, yang diakibatkan oleh aktifitas DSM, dengan memperhatikan alternatif solusi penggantian lampu hemat energi, mempertimbangkan faktor emisi dan total penghematan energi per tahunnya. Hal ini akan dilakukan melalui analisa metode *End-use Energy Saving*.

3.2. Manfaat Penelitian

Pentingnya penerapan manajemen ketenagalistrikan di sektor pengguna tidak dapat dihindari untuk diaplikasikan sebagai bagian dari penerapan program-program efisiensi di

sektor ketenagalistrikan. Untuk itu, diperlukan kajian yang komprehensif yang memperhatikan aspek multi-dimensi agar pelaksanaan program-program yang mendukung efisiensi tenaga listrik, khususnya di sektor pengguna dapat berjalan dengan baik dan efektif ditinjau dari pemenuhan target teknis dan ekonomisnya. Demand Side Management (DSM) khususnya aktifitas *lighting* telah menjadi pilihan program di berbagai negara yang telah terbukti dapat mengurangi penggunaan energy listrik dan menghasilkan efisiensi teknis serta ekonomis yang signifikan bagi negara yang melaksanakannya.

Usulan kerangka metode *assessment* dan hasil-hasil yang diperoleh melalui analisa multi dimensi yang diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengambil keputusan (dalam hal ini pemerintah dan PLN) dan dapat dijadikan rujukan referensi atau panduan untuk merencanakan aktifitas Lighting-DSM di sektor rumah tangga di kota-kota maupun pada tingkat nasional. Agar hasil dan manfaat penelitian dapat tersampaikan, luaran penelitian akan dipublikasikan melalui forum seminar nasional dan internasional, jurnal nasional dan atau internasional, serta perencanaan kegiatan diseminasi langsung pada instansi yang berwenang. Selain itu, juga direncanakan diseminasi pada forum temu ilmiah mahasiswa untuk meningkatkan atmosfir akademik dan mendorong mahasiswa untuk dapat memperhatikan isu-isu yang berkaitan dengan sektor ketenagalistrikan nasional.

BAB 4 METODE PENELITIAN

Pada tahun pertama, penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mendalami konsep DSM, studi penelitian terdahulu, dan metode-metode yang akan dipakai untuk menganalisa aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan, yaitu mitigasi emisi CO₂ dalam penelitian ini. Studi literatur difokuskan pada referensi awal tentang konsep dan metode DSM dari buku "Demand Side Management: Concepts and Methods (Gellings ad Chamberlin, 1988). Selain itu, tim peneliti juga mempelajari beberapa artikel jurnal yang menunjang pemahaman konsep DSM, analisa AHP, dan BEU, diantaranya: Development of assessment model for demand side management investment programs in Korea (Deok, et.al. 2007), Multicriteria evaluation of demand side management (DSM) implementation strategies in the Indian power sector (Vashishtha dan Ramachandran, 2006), Demand-side management-A simulation of household behavior under variable prices (Gottwalt, et.al, 2011), Economic and environmental impacts of demand side management programmes (Reddy dan Parikh, 1996) dan beberapa artikel lainnya. Setelah itu rangkaian penelitian masuk pada blok pengumpulan data dari berbagai sumber data, diantaranya data penggunaan lampu di sektor rumah tangga dan data teknis pola pembebanan sistem distribusi Surabaya dari PLN Distibusi Jawa Timur, APD Surabaya. Survey penggunaan lampu di rumah tangga akan menghasilkan data-data antara lain:

- Penggunaan energi listrik (harian/bulanan)
- Penggunaan lampu (jumlah, jam pemakaian, lokasi, daya, tipe, dsb)
- Keandalan pasokan listrik
- Kesiediaan mengikuti program DSM (kriteria preferensi AHP)

Untuk survey rumah tangga, kecukupan ukuran sampel awal ditentukan berdasarkan kriteria kecukupan sampel minimum ditentukan dengan memperhatikan *margin of error* sebesar 5%, *confidence level* sebesar 95% dan ukuran populasi. Dengan menggunakan formula sebagai berikut.

$$SS = \frac{Z^2 (p)(1-p)}{c^2} \quad (4.1)$$

dimana Z adalah Z value (contoh 1.96 untuk *confidence level* sebesar 95%); p adalah prosentase terambilnya pilihan, dalam desimal (menggunakan 0.5 untuk ukuran sample yang

dibutuhkan); dan c adalah confidence interval, dinyatakan dalam desimal. Untuk jumlah populasi tertentu, dengan mengetahui jumlah populasi (pop), *corrected SS* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$corrected\ SS = \frac{SS}{1 + \frac{SS - 1}{pop}} \quad (4.2)$$

Cara lain untuk menentukan jumlah sample yang dibutuhkan adalah dengan menggunakan tabel ukuran sample, seperti yang terdapat pada website *The Research Advisors* (<http://research-advisors.com/tools/SampleSize.htm>) Adapun jumlah rumah tangga di Surabaya pada 2010 (Biro Pusat Statistik Kotamadya Surabaya, 2011) adalah 768,932 rumah tangga. Data jumlah rumah tangga dan jumlah sampel diberikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Jumlah rumah tangga dan rasio elektrifikasi di kota Surabaya tahun 2010

Wilayah	Jumlah rumah tangga	Rumah tangga pelanggan PLN (N)	Rasio elektrifikasi (%)	Jumlah sampel (n)
Surabaya	768,932	762,248	99	384

Kuesioner yang digunakan pada penelitian ini merupakan adaptasi dan pengembangan dari (Rumbayan, 2001) untuk mendapatkan data pola penggunaan lampu, jenis dan ukuran lampu, serta pembobotan usulan strategi dan prioritas aktifitas *Lighting-DSM*.

Data yang diperoleh dari survey akan di analisa, dimana untuk tahun pertama akan dilakukan analisa data dengan menggunakan metode *Baseline Energy Use* (BEU) untuk menghasilkan informasi awal jumlah lampu berdasarkan jenisnya, rata-rata jumlah lampu per rumah tangga, jumlah total lampu di sektor rumah tangga, kurva beban harian lampu, dan rata-rata jam pemakaian harian. Hasil penting yang dapat diketahui dari analisa BEU adalah estimasi kurva beban harian rata-rata daya yang digunakan per hari per rumah tangga. Selain itu, juga akan didapatkan kurva beban harian pembebanan lampu untuk seluruh rumah tangga di Surabaya. Analisa lanjutan mencakup penentuan share of ownership, rata-rata waktu penyalaan lampu, dan estimasi jumlah lampu untuk tiap ukuran dan jenis lampu yang ada di sektor rumah tangga.

Disamping itu, dilakukan analisa pengambilan keputusan berbasis multi kriteria dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk menghasilkan *output* preferensi sektor rumah tangga dalam aktifitas DSM ini. Dari analisa software Expertchoice® Ver. 11.5 akan

didapatkan urutan dan bobot prioritas aktifitas dan strategi yang dipilih oleh responden, yang dalam hal ini dianggap mewakili keseluruhan jumlah rumah tangga di kota Surabaya. Hasil yang didapat dari analisa BEU dan AHP selanjutnya akan digunakan untuk menentukan besar penggunaan energi dan potensi penghematan beban puncak dan energi tahunan yang dihasilkan dari aktifitas Lighting-DSM yang diusulkan, dengan terlebih dahulu mengetahui *coincidence factor* dan *diversity factor*. Alternatif aktifitas DSM yang diusulkan akan disesuaikan dengan strategi yang dipilih oleh pelanggan listrik sektor rumah tangga ditinjau dari analisa AHP dan alternatif penggantian lampu existing dengan lampu yang lebih hemat energi (memperhatikan hasil analisa metode BEU). Untuk setiap alternatif aktifitas yang diusulkan, akan dihitung penggunaan energi dan potensi penghematan energinya selama setahun. Besarnya penggunaan energi didapatkan dari rumus berikut ini (Violette, et.al., 2000).

$$\text{Penggunaan energi} = \sum_i^n (N_i \times P_i \times H_i \times DF) \quad (4.3)$$

dimana N adalah banyaknya lampu menurut ukuran dan jenisnya, P adalah daya yang dikonsumsi oleh jenis dan ukuran lampu tersebut, H adalah rata-rata waktu penggunaan lampu tersebut per hari, dan DF adalah *diversity factor*. Dengan demikian, total penggunaan energi merupakan penjumlahan dari penggunaan energi setiap lampu. Untuk mengetahui penggunaan energi per jenis lampu dalam setahun maka penggunaan lampu tiap jam harus dikalikan dengan 365 hari setelah memperhitungkan DF. Potensi penghematan energi juga mempertimbangkan rugi-rugi saluran transmisi dan distribusi untuk kota Surabaya, dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Shrestha, et.al., 1998).

$$G_i = \Delta P_i \times H_i \times N_i \times \frac{UF_i}{1 - L_t} \quad (4.4)$$

dimana UF adalah utilization factor dan L_t adalah rugi-rugi jaringan. Potensi penghematan energi yang dihasilkan akan terkait dengan preferensi strategi pembebanan yang dipilih oleh pelanggan sektor rumah tangga, sehingga tidak terbatas hanya berasal dari penghematan daya yang diperoleh dari penggantian lampu saja. Hal ini relevan dengan kondisi saat ini dimana lampu hemat energi telah banyak digunakan di masyarakat. Urutan aktifitas penelitian untuk tahun pertama, tahapan, luaran, dan indikator dirangkum dalam Tabel 4.2, sedangkan alokasi waktu penelitian diberikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2. Urutan aktifitas, tahapan, luaran, dan indikator penelitian tahun pertama

Urutan aktifitas	Tahapan	Luaran	Indikator
Studi literatur	<ul style="list-style-type: none"> • Membaca buku referensi DSM, membaca artikel/referensi <i>Lighting DSM</i>, • Mempelajari metode <i>Baseline Energy Use</i> dan <i>Analytic Hierarchy Process</i>. 	Pemahaman konsep Lighting DSM dan alternatif metode yang akan dipakai dalam analisa, perbedaan (keunggulan) metode yang akan diterapkan dengan penelitian terdahulu/ yang sejenis	Rangkuman hasil studi dalam log book/laporan dan dalam draft paper.
Pengumpulan data	<ul style="list-style-type: none"> • Pengumpulan data primer melalui survey (pengedaran kuesioner): Menentukan <i>boundary participant</i> dan ukuran sampel, menentukan jenis lampu <i>existing</i> yang digunakan di rumah tangga yaitu IL, TL, dan CFL, mempersiapkan/merancang dan mengedarkan kuesioner, merekap hasil kuesioner. • Pengumpulan data sekunder: memperoleh data kurva beban sistem distribusi 20 kV Surabaya 	<p>Pengumpulan data primer: Jumlah rumah tangga dan jumlah sampel minimal yang diperlukan dapat ditentukan, kuesioner berhasil disusun dan diedarkan ke sejumlah responden sesuai jumlah sampel yang diperlukan.</p> <p>Pengumpulan data sekunder: kurva beban sistem distribusi 20 kV Surabaya telah didapatkan dari PT. PLN APJ Jawa Timur.</p>	Jumlah sampel yang diperlukan, kuesioner yang berhasil disusun dan diedarkan kepada seluruh responden sejumlah sampel, data kurva beban sistem yang didapat seluruhnya dapat dilaporkan dan digunakan untuk analisa data dan pembuatan makalah.

<p>Analisa data dan hasilnya</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analisa penggunaan energi dasar dengan metode BEU • Analisa pengambilan keputusan multi-kriteria/preferensi menggunakan metode AHP 	<p>Melalui analisa penggunaan energi dasar, didapatkan hasil-hasil: jumlah dan jenis lampu existing, share of ownership, perkiraan jumlah lampu untuk seluruh rumah tangga, perkiraan waktu penggunaan lampu per hari, penentuan pola pembebanan lampu per rumah tangga per hari, penentuan kurva beban lampu untuk sektor rumah tangga, analisa <i>coincidence</i> dan <i>demand factor</i>.</p> <p>Melalui analisa AHP, didapatkan: Urutan dan ranking prioritas aktifitas yang bersedia untuk dilakukan berkaitan dengan Lighting DSM, urutan dan ranking strategi pembebanan yang dipilih oleh responden yang dalam hal ini mewakili sektor rumah tangga di Surabaya.</p> <p>Dari penggabungan hasil analisa menggunakan dua metode tersebut, didapatkan alternatif aktifitas Lighting-DSM yang diusulkan dalam penelitian ini, yang telah mengcover setengah kerangka assessment yang diusulkan, yaitu aspek teknis dan preferensi, yang meliputi potensi reduksi daya, beban puncak, dan energi per tahun.</p>	<p>Terdapat potensi penghematan/reduksi beban puncak dan energi per tahun dari beberapa alternative aktifitas yang dapat dilakukan dari penggabungan kedua metode. Hasil analisa dapat dilaporkan dalam bentuk laporan akhir tahun pertama dan dalam makalah yang telah dipublikasikan dalam seminar nasional/internasional/jurnal internasional/draft makalah.</p>
<p>Pembuatan Laporan akhir tahun pertama dan diseminasi</p>	<p>Penyusunan laporan akhir, aktifitas diseminasi hasil penelitian, penarikan kesimpulan, dan saran</p>	<p>Dihasilkan 2 artikel untuk seminar nasional (1 artikel telah dipresentasikan dan 1 artikel lainnya telah didaftarkan), 1 artikel seminar internasional (telah dipresentasikan), dan satu artikel jurnal internasional (telah didaftarkan dan dalam proses revisi).</p> <p>Kesimpulan dan saran dari penelitian tahun pertama dapat dikemukakan, kelanjutan penelitian juga diusulkan untuk melengkapi kerangka assessment menjadi sebuah metode assessment yang utuh dan mampu berdampak ekonomis apabila diterapkan.</p>	<p>Laporan akhir telah disusun, disertai dengan diseminasi berupa makalah yang telah dipresentasikan pada seminar nasional/internasional dan jurnal</p>

Tabel 4.3. Alokasi waktu penelitian tahun pertama

Urutan aktifitas/Tahapan	Jan-Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov
Studi literatur: Konsep DSM, Lighting-DSM, metode analisa BEU dan AHP									
Pengumpulan data: Pengumpulan data primer (survey) Pengumpulan data sekunder (data dari PLN)									
Analisa data: aplikasi metode BEU dan AHP									
Pembutan laporan kemajuan, lap. akhir tahun pertama, diseminasi									

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 4, penelitian pada tahun pertama ini difokuskan pada tiga hal, yaitu pembentukan rancangan metode *assessment* terintegrasi (*integrated assessment method*) yang memperhatikan multi aspek, analisa aspek preferensi pelanggan listrik rumah tangga untuk menentukan pola pembebanan lampu yang diinginkan, dan analisa penggunaan energi dasar (*baseline energy use*) untuk mengetahui pola pemakaian lampu. Hasil dan pembahasan penelitian pada tahun pertama ini dijelaskan pada Bab ini.

5.1. Rancangan Metode *Assessment* Terintegrasi

Secara tradisional, DSM telah dimaknai sebagai metode untuk mengurangi permintaan beban puncak listrik di sisi pelanggan sehingga pemerintah atau perusahaan listrik dapat menunda pembangunan pembangkit listrik baru. Pada kenyataannya, dengan mengurangi kebutuhan beban listrik tersebut, DSM menawarkan manfaat tambahan seperti meningkatnya kehandalan sistem dan berkurangnya kumulatif pemadaman. Manfaat lainnya termasuk mitigasi emisi gas buang pembangkit. Dalam perspektif ekonomi, DSM telah berperan untuk menunda biaya investasi tinggi dalam ekspansi pembangkit dan sistem pendukungnya. Oleh karena itu, menerapkan DSM sebagai salah satu pendekatan untuk mengurangi jumlah permintaan energi listrik di sisi pelanggan akan memberikan dampak positif yang besar baik di sisi teknis, ekonomis, maupun lingkungan hidup jika aktifitas program yang akan dijalankan telah dipersiapkan melalui serangkaian kajian dan analisa yang tepat dan selanjutnya dimonitoring secara baik pula.

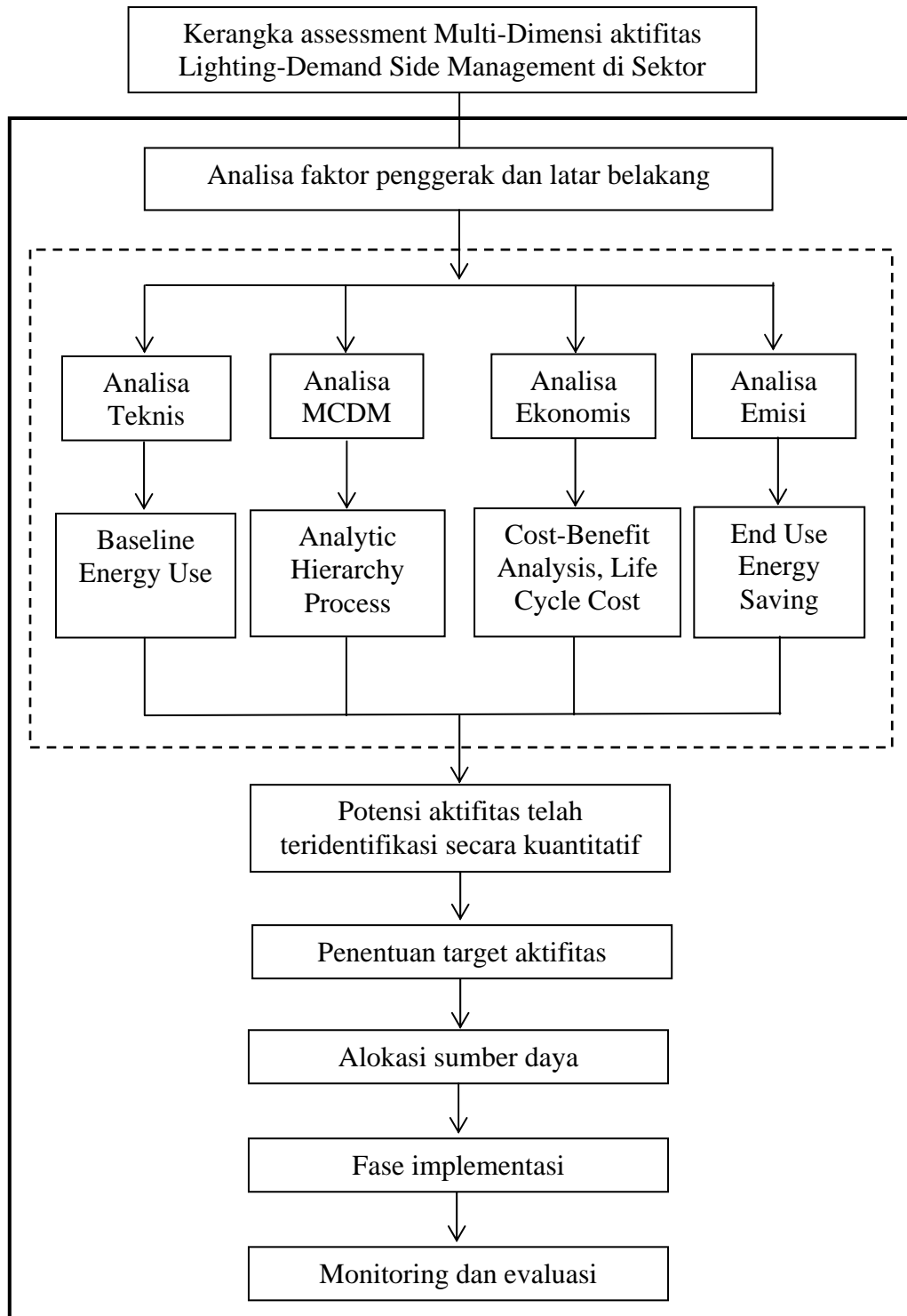
Pemikiran pembentukan rancangan metode *assessment* yang terintegrasi ini didasari pada studi pustaka yang telah dilakukan sebelumnya. Seperti yang telah dibahas sebelumnya pada Bab 2, metode-metode analisa yang telah dikemukakan, yaitu metode BEU (*Baseline Energy Use*), metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*), metode CBA-LCC (*Cost and Benefit-Life Cycle Cost*), dan metode EES (*End Use Energy Saving*) telah terbukti mampu diaplikasikan pada perencanaan dan evaluasi potensi pada aktifitas ketenagalistrikan, khususnya pada aktifitas DSM. Meskipun demikian, penggunaan metode-metode tersebut masih diterapkan secara terpisah sehingga hasil pemahaman yang diberikan masih bersifat parsial dilihat dari kebutuhan analisa dan evaluasi yang dilakukan. Menyikapi kondisi ini, tim

peneliti kemudian memikirkan untuk membuat rancangan metode assessment yang terintegrasi dengan memperhatikan aspek teknis, ekonomis, preferensi, dan lingkungan menggunakan metode-metode seperti yang telah dijelaskan diatas untuk selanjutnya diusulkan untuk menjadi metode assessment terintegrasi pada aktifitas Lighting-DSM di sektor rumah tangga.

Kerangka *assessment* yang diusulkan untuk perencanaan aktifitas Lighting-DSM di sektor rumah tangga pada penelitian ini terdiri dari empat bagian analisa dimana setiap bagian akan memberikan hasil analisa secara mandiri namun dapat dikaitkan untuk proses analisa di aspek lain. Kami menyebut model analisa ini sebagai “*multi-dimensional assessment framework*”, dimana analisa yang dilakukan mencakup aspek teknis, ekonomis, preferensi, dan lingkungan. Analisa teknis terkait dengan penggunaan energi dasar, dalam hal ini pola penggunaan lampu, dilakukan menggunakan metode BEU. Analisa preferensi pelanggan yang dalam hal ini menggunakan prinsip *multi-criteria decision making* (MCDM) dilakukan menggunakan metode AHP yang bertujuan untuk menentukan pola pembebanan lampu yang diinginkan oleh pelanggan, yang dalam hal ini diwakili oleh responden survey. Selanjutnya, metode CBA dan LCC bersama-sama digunakan untuk menentukan kelayakan ekonomis dari alternatif hasil yang didapat dari metode BEU dan AHP, khususnya untuk menentukan kebutuhan biaya penggantian lampu dan indicator ekonomis lainnya. Sementara itu, potensi pengurangan emisi lingkungan diungkap melalui penggunaan metode EES.

Kerangka *assessment* yang diusulkan terdiri dari dua bagian utama. Bagian pertama terkait dengan analisa multi-dimensi potensi program DSM, dimana dua dari empat analisa dilakukan pada penelitian ini di tahun pertama. Analisa multi-dimensi ini sebaiknya didahului dengan pra-analisa yang mencakup studi latar belakang dan faktor penggerak implementasi aktifitas DSM. Setelah semua analisa selesai dilakukan, potensi program dapat sepenuhnya terungkap dalam hal teknis, dampak ekonomi, lingkungan, serta preferensi pola pembebanan yang diinginkan pelanggan. Bagian kedua dari kerangka ini pada dasarnya merupakan mekanisme lanjutan dari implementasi aktifitas DSM, yang terdiri dari penetapan target DSM diikuti dengan alokasi sumber daya yang diperlukan. Sampai tahap ini, kesempatan untuk mendapatkan bantuan keuangan serta bantuan teknis lainnya, biasanya dari lembaga internasional dan / atau lembaga keuangan lainnya harus sudah dipastikan dan masuk pada kegiatan kerjasama yang nyata. Komitmen pemberian bantuan oleh lembaga / badan eksternal dapat dimulai di awal, bahkan ketika potensi itu masih dinilai. Namun demikian, hanya ketika potensi dari program ini telah dipastikan, maka setiap komitmen dalam hal teknis serta bantuan keuangan dapat diwujudkan untuk menghindari inefisiensi sumber daya. Fase

pelaksanaan program mengikuti setelahnya dan dilanjutkan dengan mekanisme monitoring dan evaluasi. Secara keseluruhan, kerangka *assessment* multi-dimensi yang diusulkan ditampilkan pada Gambar 5.1 berikut ini.

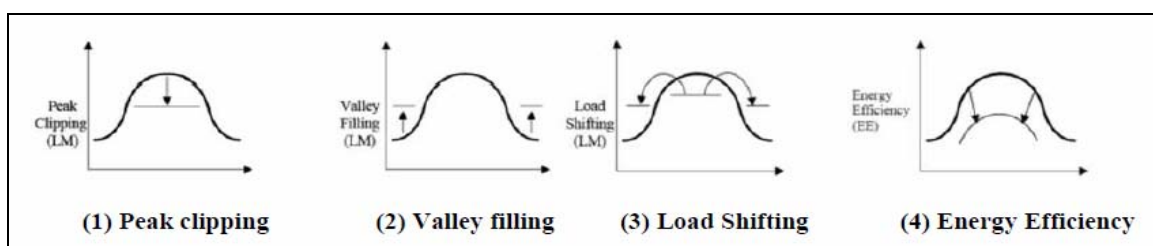


Gambar 5.1. Usulan kerangka *assessment* multi-dimensi untuk aktifitas *Lighting-DSM* di sektor rumah tangga

Selanjutnya, kerangka metode *assessment* yang telah disusun ini dijadikan dasar bagi aktifitas penelitian selanjutnya. Dalam hal ini, analisa teknis dan penentuan pola pembebanan berdasarkan preferensi pelanggan listrik rumah tangga dapat dilakukan dengan terlebih dahulu mengadakan survey dengan cara menyebarkan kuesioner yang respondennya adalah para pelanggan listrik rumah tangga. Pembuatan kuesioner dan penyebarannya, termasuk penentuan jumlah responden telah dijelaskan pada Bab 4. Bagian selanjutnya dari bab ini akan membahas hasil penyebaran kuesioner (profil responden survey), hasil analisa penggunaan energi dasar (menggunakan metode BEU), dan hasil analisa penentuan pola pembebanan lampu (menggunakan metode AHP).

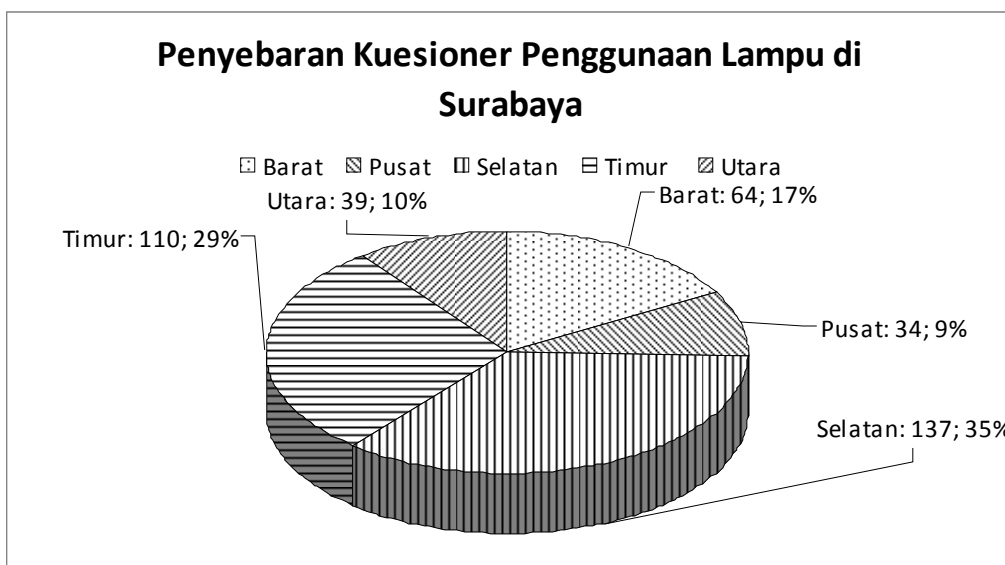
5.2. Profil Responden Survey

Pada penelitian ini, pengumpulan data penggunaan lampu dan penentuan preferensi pola pembebanan dilakukan melalui mekanisme survey dengan menyebarkan kuesioner kepada responden sektor rumah tangga di Surabaya. Penentuan jumlah responden mengikuti kaidah kecukupan sampel minimal seperti yang telah dijelaskan pada Bab 4. Sementara itu, form survey yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki rangkaian pertanyaan untuk dijawab oleh responden, yang terdiri dari bagian data responden, data rumah tangga, data konsumsi listrik, data pola pembebanan dari penggunaan lampu, perilaku dan sikap terhadap penggunaan lampu hemat energi, keandalan suplai listrik, pembobotan kriteria strategi program Lighting-DSM. Keseluruhan form kuesioner dapat dilihat pada lampiran. Penyebaran form kuesioner dilaksanakan secara acak di seluruh wilayah kota Surabaya mulai bulan Mei hingga bulan September 2012 oleh para surveyor. Saat penyebaran kuesioner, tim peneliti berusaha memberikan wawasan terhadap masyarakat khususnya sektor rumah tangga mengenai bentuk-bentuk pola pembebanan dan pengertiannya melalui keterangan catatan dan gambar yang dimaksud seperti terlihat pada Gambar 5.2 (Survey 2012) berikut ini.



Gambar 5.2. Pilihan strategi pola pembebanan lampu pada form kuesioner

Para surveyor bertugas mendampingi dan memberikan pengarahan terkait dengan validitas dan kebenaran data yang diisi. Seluruh bagian kuesioner diharapkan diisi dengan hal yang sebenarnya dan konsistensi jawaban sangat diperlukan, terutama pada bagian pertanyaan-pertanyaan yang mencakup pembobotan kriteria strategi program Lighting-DSM. Untuk itu terkadang diperlukan verifikasi ulang dari surveyor kepada responden untuk memastikan isian yang diberikan telah sesuai dan konsisten. Dari sejumlah 762,248 rumah tangga pelanggan listrik PLN, diperlukan 384 sampel rumah tangga. Komposisi wilayah penyebaran kuesioner untuk seluruh wilayah kota Surabaya ditampilkan pada Gambar 5.3 (Survey 2012) berikut ini.



Gambar 5.3. Komposisi penyebaran kuesioner penggunaan lampu di Surabaya

Salah satu bagian pertanyaan yang penting yang ditanyakan pada form kuesioner adalah pemakaian lampu, yang meliputi jenis dan ukuran lampu, jam penyalan dalam 24 jam, dan lokasi titik lampu. Data-data yang diperoleh untuk bagian pertanyaan ini telah dikompilasi berdasarkan jenis dan ukuran lampu dan dapat dilihat pada lampiran. Data ini selanjutnya digunakan untuk melakukan analisa penggunaan energi dasar yang dijelaskan lebih lanjut pada Sub bab 5.4. Di dalam survey ini juga menanyakan tentang kelompok tarif dan data konsumsi listrik bulanan. Untuk data konsumsi listrik bulanan, hanya ada beberapa responden yang memiliki catatan pengeluaran tagihan dan pemakaian energi listrik, sehingga hampir seluruh responden tidak dapat mengisi tabel yang dimaksud. Namun demikian, responden dapat menginformasikan rata-rata pembayaran listrik perbulan. Komposisi responden

menurut kelompok tarif dan pembayaran listrik perbulan (tanpa melihat klasifikasi kelompok tarif responden) ditampilkan pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1. Komposisi responden survey menurut kelompok tarif dan pembayaran listrik

Wilayah Kota	Jumlah Responden (rumah tangga)	Kelompok Tarif (rumah tangga)		Pembayaran Listrik*	
				(Rupiah)	
Surabaya Barat	64	R1	48	40,000 – 150,000	25
				151,000 – 300,000	13
		R2	16	301,000 – 600,000	20
				>600,000	6
Surabaya Timur	110	R1	90	40,000 – 150,000	50
		R2	19	151,000 – 300,000	30
		R3	1	301,000 – 600,000	20
				>600,000	12
Surabaya Selatan	138	R1	130	40,000 – 150,000	95
		R2	7	151,000 – 300,000	32
		R3	1	301,000 – 600,000	5
				>600,000	6
Surabaya Utara	39	R1	34	40,000 – 150,000	30
		R2	4	151,000 – 300,000	9
		R3	1	301,000 – 600,000	0
				>600,000	1
Surabaya Pusat	34	R1	30	40,000 – 150,000	25
		R2	3	151,000 – 300,000	7
		R3	1	301,000 – 600,000	0
				>600,000	2

*Tanpa melihat klasifikasi kelompok tarif responden

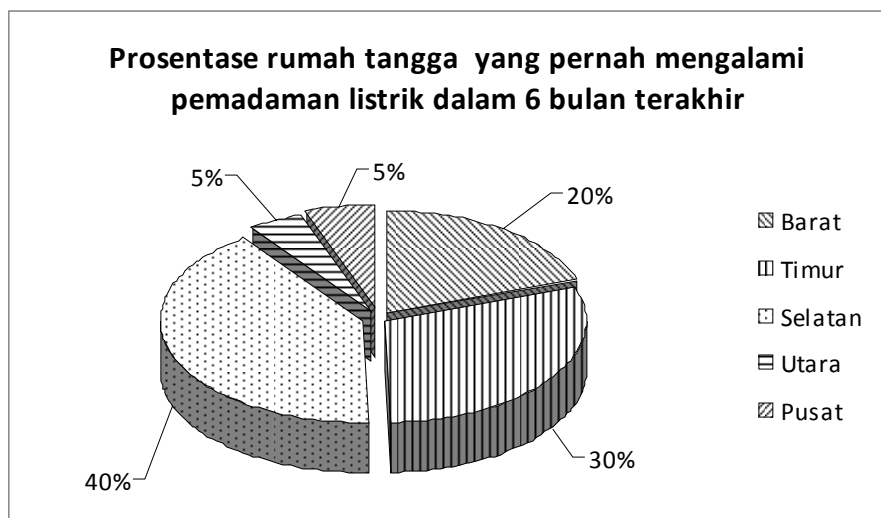
Dari Tabel 5.1 terlihat bahwa sebagian besar responden secara total merupakan kelompok pelanggan listrik kelompok tarif R1 yaitu 302 rumah tangga atau sebesar 78.6% dan sisanya merupakan kelompok pelanggan R2 dan R3 sejumlah 82 rumah tangga atau 21.4%. Sementara itu, terdapat 225 rumah tangga, atau 58.6% membayar tagihan listrik bulanan antara Rp. 40,000 – Rp 150,000, dan 91 rumah tangga atau 23.7% membayar tagihan listrik bulanan antara Rp. 301,000 – Rp. 600,000. Sementara itu, profil keandalan suplai listrik PLN

(gangguan/pemadaman dan lama waktu pemadaman) dalam kurun waktu 6 bulan terakhir menurut hasil survey ditampilkan pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.4 (Survey 2012).

Tabel 5.2. Pemadaman dan lama waktu pemadaman listrik

Pemadaman Listrik [#] (Pernah/Tidak)*	Wilayah Surabaya					Komposisi (%)
	Barat	Timur	Selatan	Utara	Pusat	
Pernah, > 3 kali	10	5	20	2	1	9.9
Pernah, 1 – 3 kali	37	66	76	9	12	50
Tidak pernah	16	39	41	28	21	37.7
Lama waktu pemadaman	Barat	Timur	Selatan	Utara	Pusat	Durasi (%)
s/d 30 menit	12	27	35	5	6	36
30 – 60 menit	12	27	41	4	5	37
> 60 menit	23	17	20	2	2	27

*Peristiwa pemadaman listrik 6 bulan terakhir, [#]Ada responden yang tidak memberikan jawaban



Gambar 5.4. Prosentase rumah tangga yang pernah mengalami pemadaman listrik

Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa Surabaya Selatan memiliki prosentase terbesar pelanggan rumah tangga yang pernah mengalami gangguan pemadaman listrik dalam 6 bulan terakhir menurut hasil survey. Dari survey juga didapatkan seluruh responden pelanggan rumah tangga bersedia mengikuti program Lighting-DSM sehingga dapat disimpulkan keseluruhan

jumlah sampel dapat merepresentasikan jumlah rumah tangga pelanggan listrik PLN di Surabaya dan seluruh rumah tangga ini bersedia untuk mengikuti program *Lighting-DSM*.

5.3. Analisa Penentuan Preferensi Pola Pembebanan Lampu

Analisa penentuan pola pembebanan lampu didasarkan pada metode pengambilan keputusan berdasarkan analisa AHP dilakukan dengan metode survey, yang ditujukan pada 384 responden acak di kota Surabaya, dimana penentuan jumlah responden (sampel) telah dijelaskan pada Bab 4. Untuk itu, perlu disusun sebuah model pengambilan keputusan berbasis multi-kriteria dengan mengikutsertakan beberapa kriteria dan strategi. Struktur dekomposisi hirarki yang digunakan terdiri dari tiga hirarki yang terdiri dari hirarki tujuan, kriteria, dan strategi sebagai berikut:

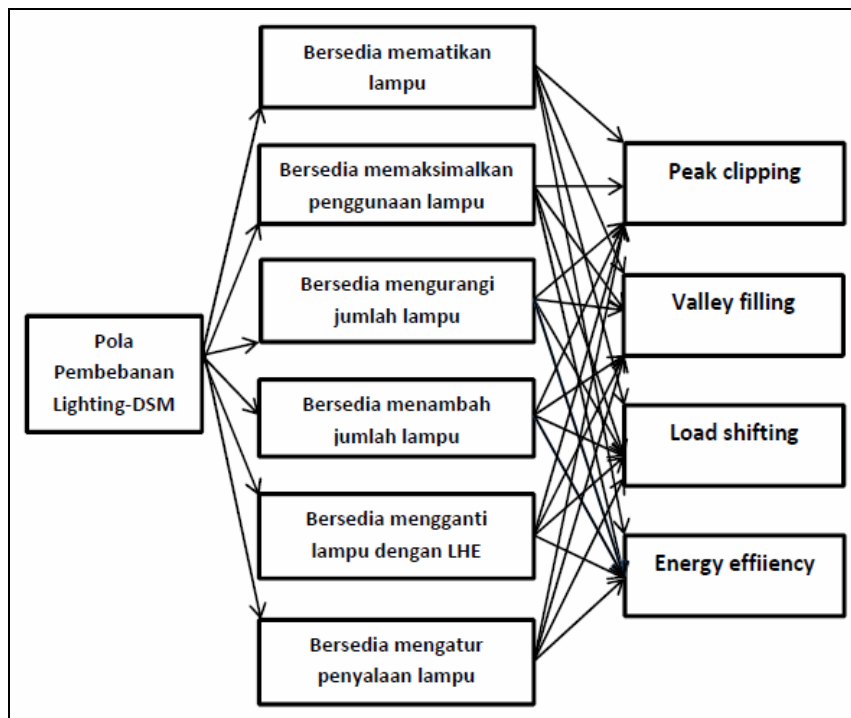
- Hirarki tingkat pertama (Tujuan): Tujuan yang diinginkan adalah penentuan pola pembebanan berdasarkan alternatif skema pembebanan *Lighting-DSM* yang diinginkan, atau yang disingkat dengan “Pola Pembebanan *Lighting-DSM*”.
- Hirarki tingkat kedua (Kriteria): Terdapat enam kriteria yang selanjutnya dapat dipilih menjadi prioritas responden. Kriteria-kriteria tersebut yaitu:
 - Bersedia mematikan lampu
 - Bersedia mengatur penyalaan lampu
 - Bersedia mengganti lampu dengan lampu hemat energi
 - Bersedia memaksimalkan penggunaan lampu
 - Bersedia menambah jumlah lampu
 - Bersedia mengurangi jumlah lampu
- Hirarki tingkat ketiga (Strategi): Tersedia empat alternatif strategi yang dapat dipilih sebagai pola pembebanan lampu pada aktifitas *Lighting-DSM*. Setiap responden akan membandingkan strategi, yang bersesuaian dengan kriteria yang dipilih. Keempat strategi tersebut yaitu: *Peak Clipping*; *Valley Filling*; *Load Shifting*; *Energy Efficiency*.

Untuk membantu responden memahami pengertian strategi yang diusulkan, pada form kuesioner (terdapat pada Lampiran) diberikan penjelasan strategi sebagai berikut:

- *Peak Clipping* dapat dicapai dengan mematikan beberapa lampu pada saat waktu beban puncak, yaitu pada pukul 19.00 s/d pukul 22.00.
- *Valley Filling* dapat dicapai dengan cara memaksimalkan penggunaan lampu diluar waktu beban puncak.

- *Load Shifting* dapat dicapai dengan mematikan beberapa lampu pada saat waktu beban puncak dan tetap menyalakan lampu diluar waktu beban puncak.
- *Energy Efficiency* dapat dicapai dengan mematikan beberapa lampu sepanjang hari termasuk saat beban puncak atau mengganti lampu dengan jenis lampu hemat energi.

Struktur hirarki analisa AHP yang diusulkan pada penelitian ini ditampilkan sebagai berikut.

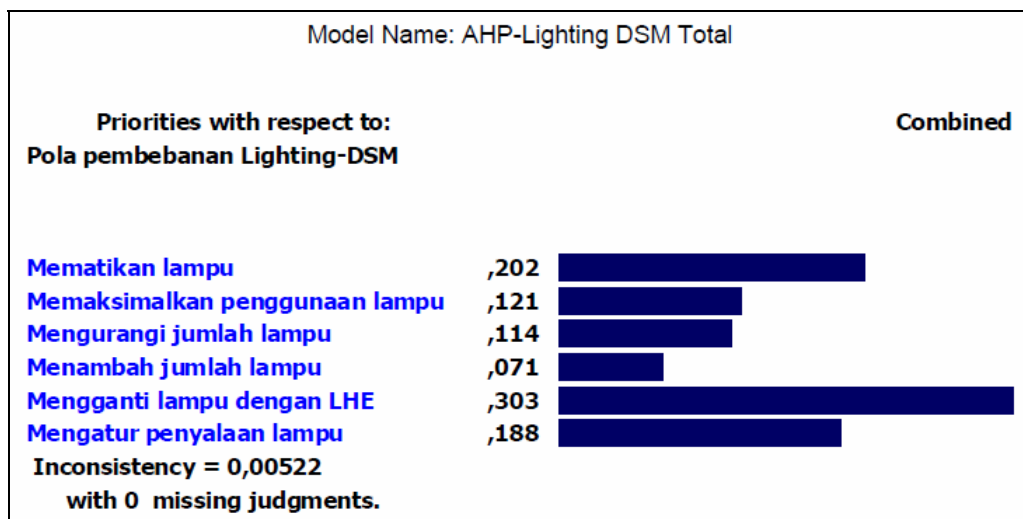


Gambar 5.5. Hirarki model pengambilan keputusan yang diusulkan pada penentuan pola pembebanan *Lighting-DSM* di rumah tangga

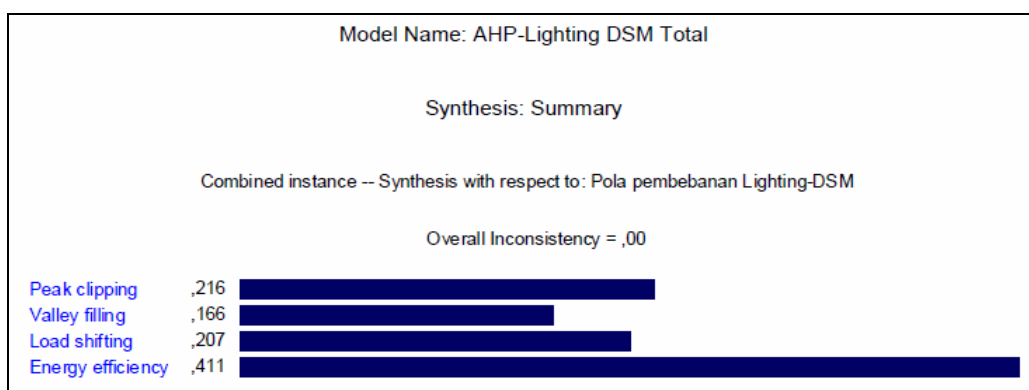
Selanjutnya, responden memberikan penilaian pada skala angka 1 sampai dengan 9 untuk setiap perbandingan berpasangan untuk setiap perbandingan antar kriteria. Dalam hal ini, terdapat 15 perbandingan berpasangan yang harus diberi pembobotan diantara kedua kriteria yang diperbandingkan, dengan memilih skala angka 1 sampai 9, terhadap salah satu kriteria. Sementara itu, untuk setiap kriteria akan dibuat perbandingan antar strategi dan dipilih skala angkanya. Misalkan, untuk kriteria “Bersedia mematikan lampu”, strategi “*Peak clipping*” akan dibandingkan dengan “*Valley filling*” dan seterusnya dengan cara yang sama seperti perbandingan kriteria, sehingga secara keseluruhan terdapat 6 perbandingan berpasangan untuk masing-masing kriteria. Matriks perbandingan berpasangan yang terbentuk berorde-4 karena terdiri dari 4 strategi. Dengan demikian, nilai *Random Index* (RI) yang digunakan adalah 0,90 (S. Vashishtha dan M. Ramachandran, 2005). Secara

keseluruhan, perbandingan berpasangan antar kriteria dan perbandingan antar strategi terhadap kriteria yang bersesuaian terdapat pada form kuesioner (terdapat pada Lampiran).

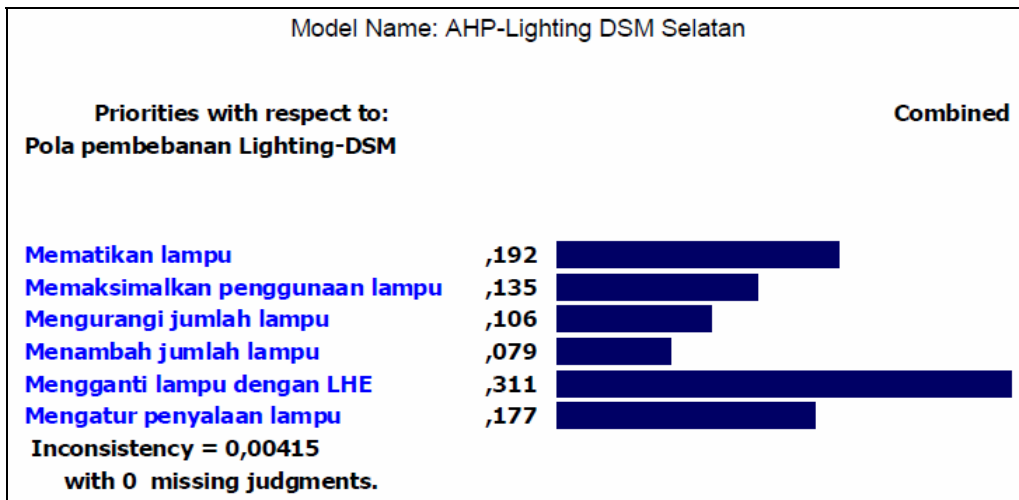
Analisa pemodelan pengambilan keputusan dalam hirarki menurut metode AHP selanjutnya dilakukan menggunakan software expertchoice® 11.5. Data yang diperoleh dari kuesioner untuk setiap responden diinputkan ke software ini dalam dua tahapan, dimulai analisa perbandingan berpasangan untuk antar kriteria terhadap tujuan pemodelan, dan diikuti dengan perbandingan tingkat kepentingan relatif antar strategi terhadap tiap kriteria yang diusulkan. Seperti yang telah dijelaskan pada Sub Bab 5.1, dari 384 responden survey, terdapat dua wilayah yang mempunyai jumlah responden terbanyak, yaitu Surabaya Selatan dengan 137 responden, atau 36%, dan Surabaya Timur dengan 110 responden, atau 28% dari total seluruh responden. Urutan dan bobot prioritas kriteria dan strategi pola pembebanan terpilih terhadap tujuan pemodelan ditampilkan pada gambar-gambar berikut ini.



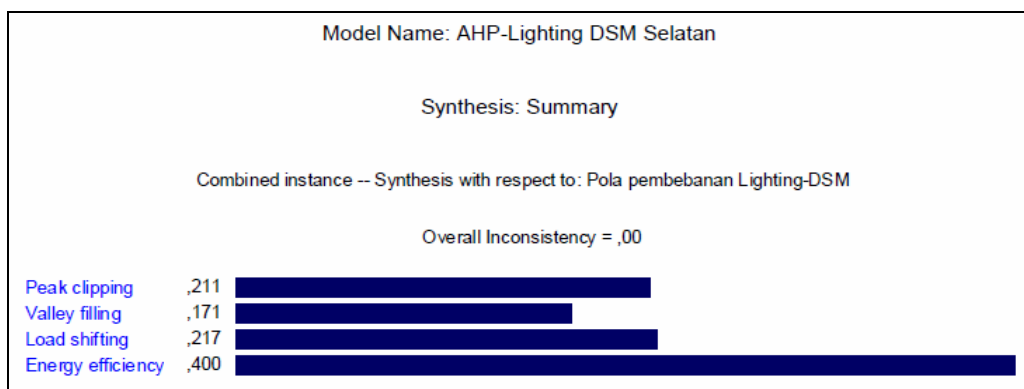
Gambar 5.6. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan secara total di Surabaya



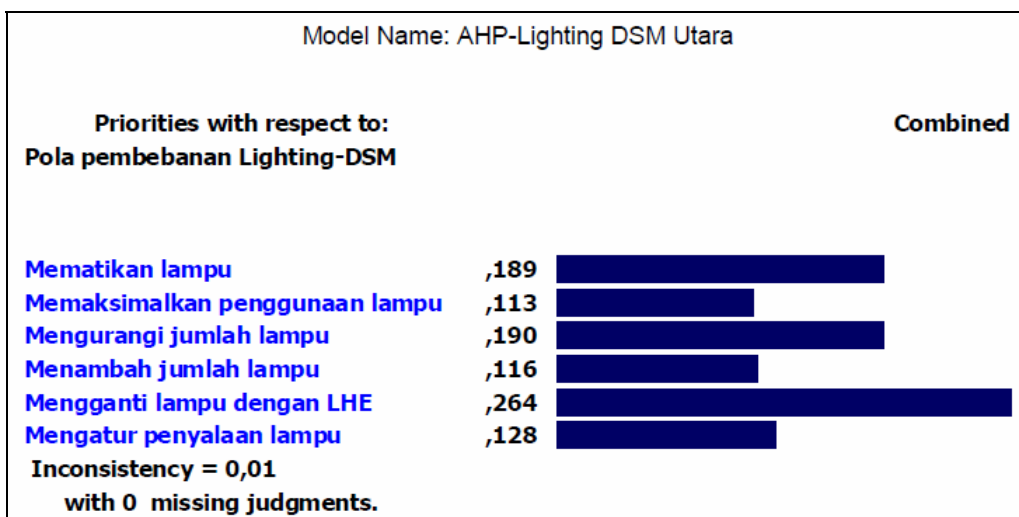
Gambar 5.7. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya



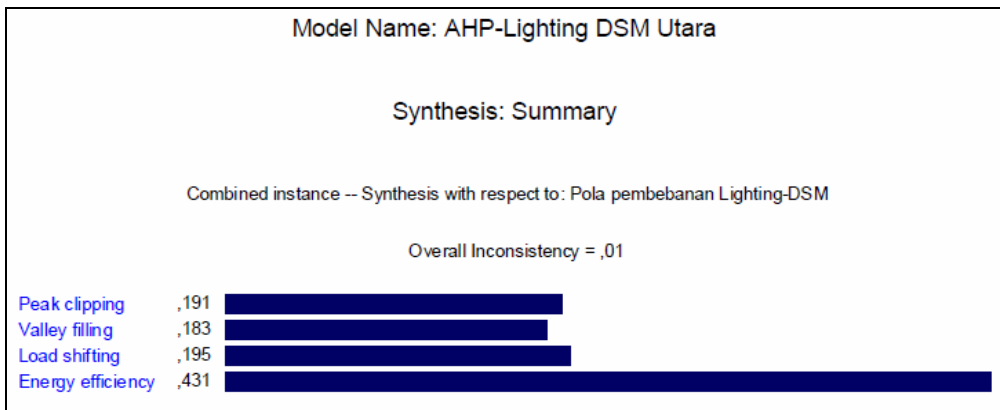
Gambar 5.8. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Selatan



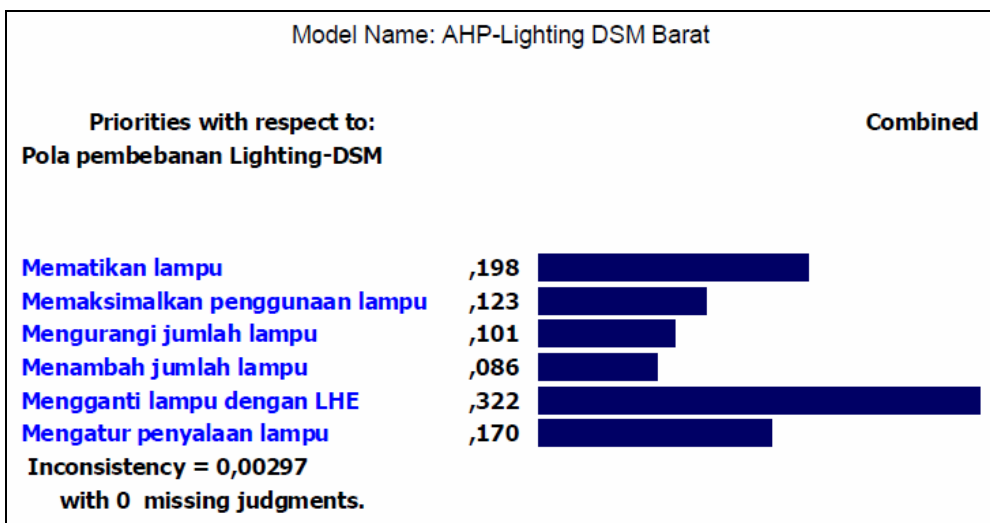
Gambar 5.9. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Selatan



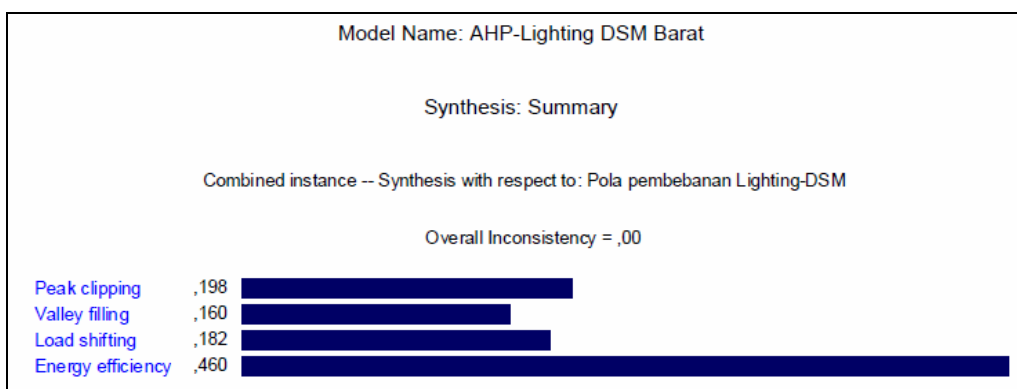
Gambar 5.10. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Utara



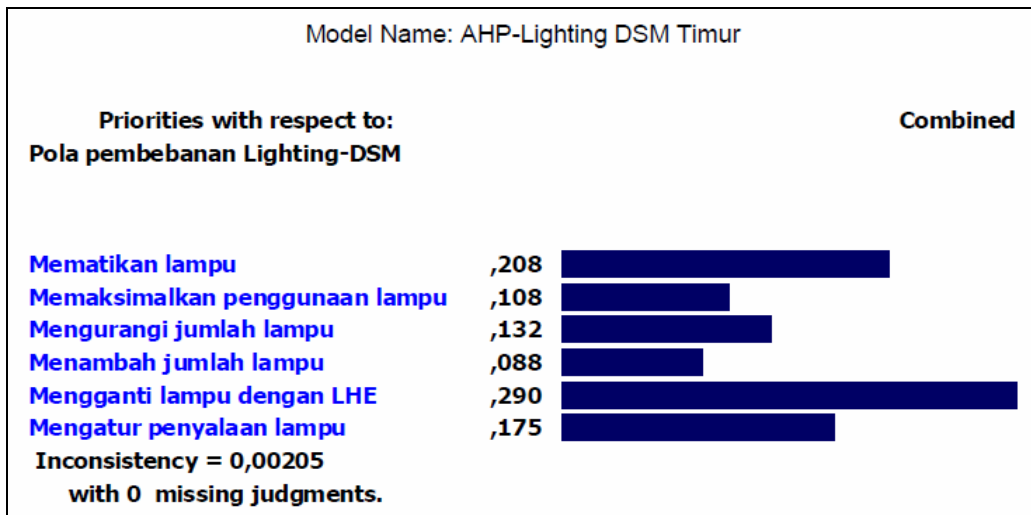
Gambar 5.11. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Utara



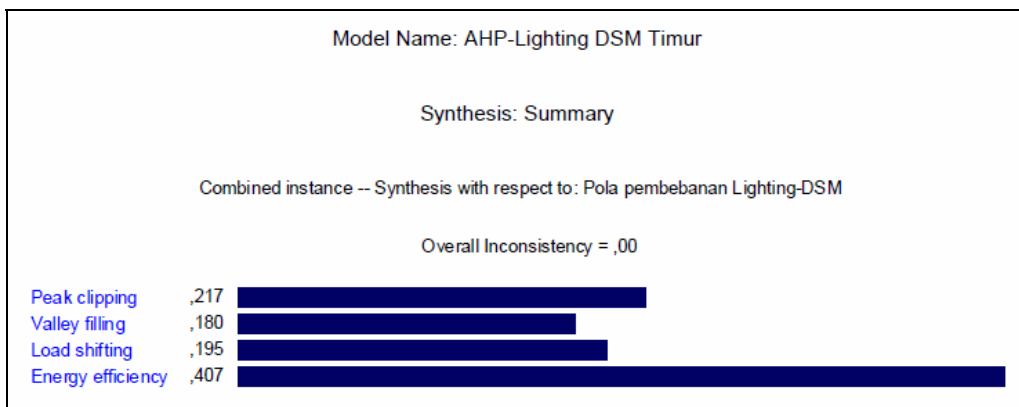
Gambar 5.12. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Barat



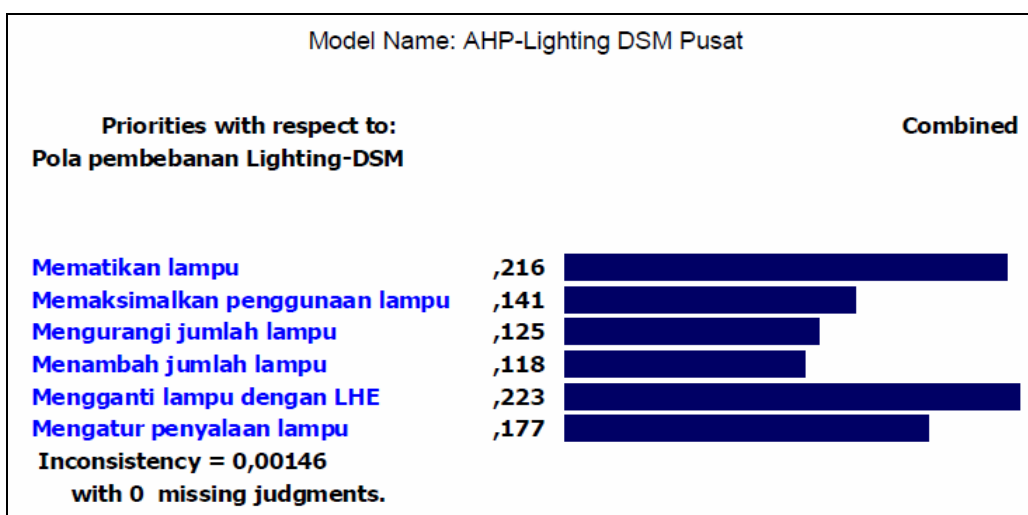
Gambar 5.13. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Barat



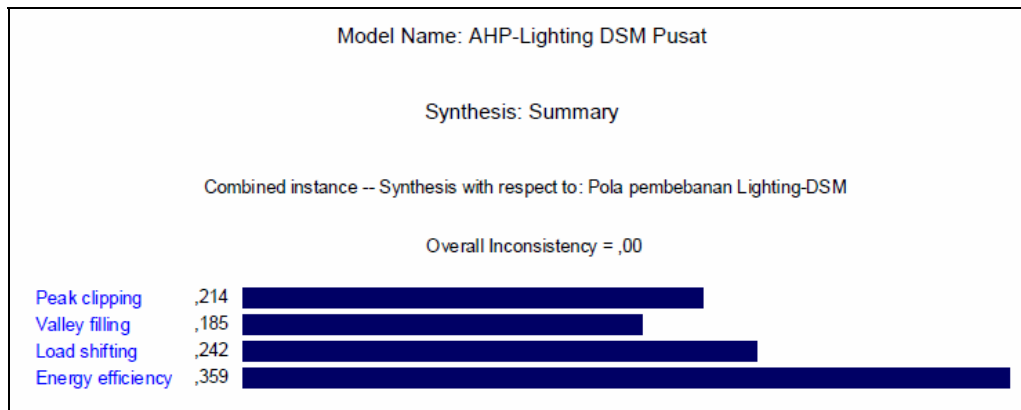
Gambar 5.14. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Timur



Gambar 5.15. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Timur

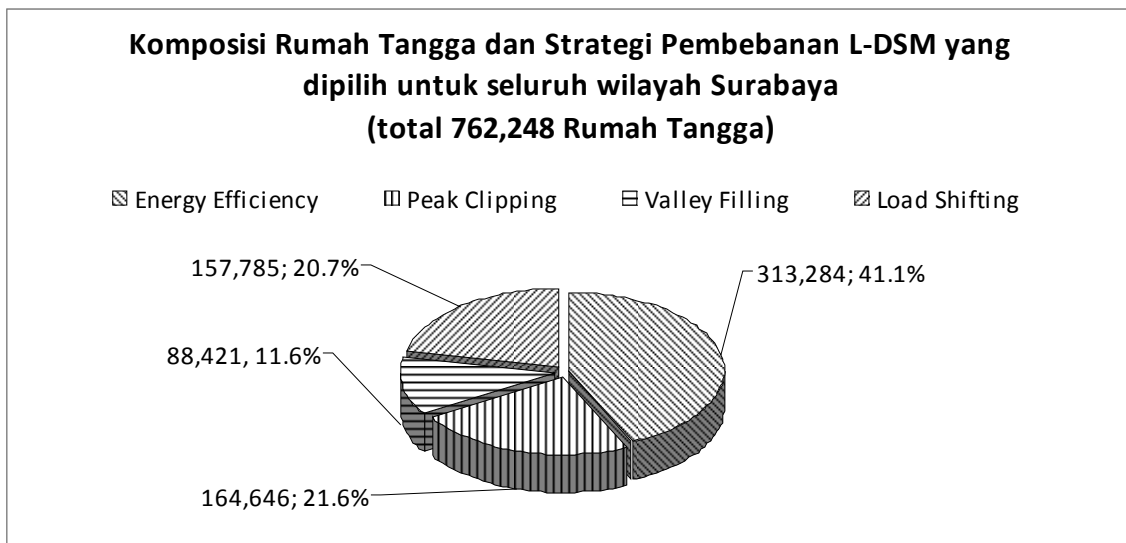


Gambar 5.16. Prioritas kriteria terhadap tujuan pemodelan di wilayah Surabaya Pusat



Gambar 5.17. Preferensi pola pembebanan yang diinginkan responden di Surabaya Pusat

Dari keseluruhan *sample* untuk seluruh wilayah kota Surabaya, terlihat bahwa strategi *Energy Efficiency* menempati urutan preferensi pertama dari alternatif strategi yang diusulkan, seperti yang terdapat pada Gambar 5.7. Temuan ini konsisten dengan urutan preferensi kriteria, yaitu “Bersedia mengganti lampu dengan LHE”, “Bersedia mematikan lampu”, dan “Bersedia mengatur penyalaan lampu”, dengan kriteria dominan adalah “Bersedia mengganti lampu dengan lampu LHE”. Sementara itu strategi *Peak Clipping* dan *Load Shifting* masing-masing menempati urutan preferensi kedua dan ketiga dengan hanya sedikit perbedaan pada nilai bobotnya. Nilai pembobotan yang diperoleh dari analisa AHP untuk menentukan preferensi pola pembebanan *Lighting-DSM* dalam hal ini dapat dipersepsi sebagai prosentase jumlah responden yang memilih strategi tersebut. Sebagai contoh, strategi *Energy Efficiency* yang mendapatkan nilai bobot 0.411 dapat diartikan memiliki komposisi preferensi sebesar 41.1% atau yang terbesar dibandingkan dengan prosentase tiga preferensi lainnya. Lebih lanjut, jika seluruh responden yang berjumlah 384 mewakili seluruh pelanggan sektor rumah tangga yang diasumsikan bersedia mengikuti program ini, maka pada tahun 2010 di kota Surabaya ada sejumlah 762,248 rumah tangga yang bersedia mengikuti program *Lighting-DSM* ini. Dengan demikian, dapat disimpulkan jumlah rumah tangga yang memilih strategi pembebanan *Energy Efficiency* adalah sebesar 313,284 rumah tangga, yang memilih strategi pembebanan *Peak Clipping* adalah sebesar 164,646 rumah tangga, diikuti oleh sejumlah 157,785 rumah tangga dan 88,421 rumah tangga yang masing-masing memilih strategi *Load Shifting* dan *Valley Filling*. Secara keseluruhan, pemilihan strategi pembebanan yang menjadi preferensi responden atau ekuivalen dengan preferensi rumah tangga pelanggan PLN untuk seluruh wilayah kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 5.18. Sementara itu, rekapitulasi strategi pembebanan terpilih untuk setiap wilayah kota Surabaya dengan memperhatikan jumlah responden yang didapat perwilayah ditampilkan pada Tabel 5.3.



Gambar 5.18. Komposisi rumah tangga dan strategi pembebanan L-DSM yang dipilih untuk seluruh wilayah Surabaya

Tabel 5.3. Rekapitulasi strategi pembebanan L-DSM terpilih untuk setiap wilayah Surabaya

	Jumlah rumah tangga partisipan L-DSM				
	Pusat	Selatan	Utara	Timur	Barat
Peak Clipping	14,443	57,381	14,786	47,382	25,154
Valley Filling	12,486	46,503	14,167	39,522	20,327
Load Shifting	16,333	59,013	15,096	42,579	23,122
Energy Efficiency	24,229	109,051	33,366	88,869	58,439
Total Partisipan	67,491	271,948	77,418	218,352	127,041

Pada Tabel 5.3, jumlah responden survey di tiap wilayah proporsional terhadap jumlah rumah tangga pelanggan PLN di kota Surabaya dan mewakili jumlah rumah tangga yang bersedia mengikuti program L-DSM. Hal ini berarti untuk wilayah Surabaya Selatan terdapat 271,948 rumah tangga yang didalamnya terdapat 109,051 rumah tangga yang memilih strategi pembebanan *Energy Efficiency*, diikuti dengan 59,013 rumah tangga yang memilih strategi pembebanan *Load Shifting*, 57,381 rumah tangga memilih strategi *Peak Clipping*, dan 46,503 rumah tangga memilih *Valley Filling*.

Dari keseluruhan hasil yang didapat, terdapat tiga aktifitas yang menjadi prioritas untuk dilakukan terkait dengan penentuan pola pembebanan lampu yang diinginkan, yaitu mengganti lampu dengan lampu hemat energi, mematikan lampu saat beban puncak, dan mengatur penyalaan lampu. Tiga aktifitas inilah yang kemudian mendorong terbentuknya

strategi pembebanan *Energy Efficiency*, dimana dalam strategi ini tercakup pula strategi *Peak Clipping* dan strategi *Load Shifting* yang dalam temuan survey menempati urutan kedua dan ketiga setelah strategi *Energy Efficiency*. Selanjutnya, hasil survey terkait dengan pola penggunaan lampu khususnya terkait dengan jenis lampu dan lama penyalaan lampu dan dikombinasikan dengan temuan pola pembebanan lampu yang diinginkan pelanggan melalui analisa AHP akan mempengaruhi hasil yang didapat pada analisa penggunaan energi dasar yang dijelaskan pada Sub bab 5.4.

5.4. Analisa Penggunaan Energi Dasar

Pada analisa ini, BEU digunakan sebagai referensi untuk menghitung penggunaan energi listrik saat ini, yaitu pada saat periode survey dijalankan untuk aplikasi beban penerangan (lampu) di area studi (dalam hal ini kota Surabaya). Secara khusus, BEU pada penelitian ini berkaitan dengan:

- Banyaknya rumah tangga (*number of household*)
- Lama pemakaian tiap lampu (*operating hour of each lamp*)
- Variasi jenis lampu (*various type of lamp*)

Data hasil survey yang telah dikompilasi kemudian dianalisa untuk mendapatkan karakteristik penggunaan energi dasar bagi data sampel yang didapatkan. Karakterisasi penggunaan energi dasar meliputi:

- Banyaknya lampu untuk tiap jenis lampu: Digunakan untuk menentukan banyaknya lampu untuk seluruh populasi rumah tangga. Disamping itu, jumlah total lampu yang tersedia dapat diperkirakan, dan faktor diversitas (*diversity factor*) dapat ditentukan.
- Rata-rata jumlah lampu per rumah tangga: Digunakan untuk mengetahui jenis lampu apa yang banyak digunakan pada area studi.
- Total jumlah lampu pada sektor rumah tangga: Merupakan data perkiraan. Informasi ini berguna untuk menentukan komposisi kepemilikan jenis lampu (*the share of ownership*).
- Rata-rata waktu penggunaan lampu per hari.

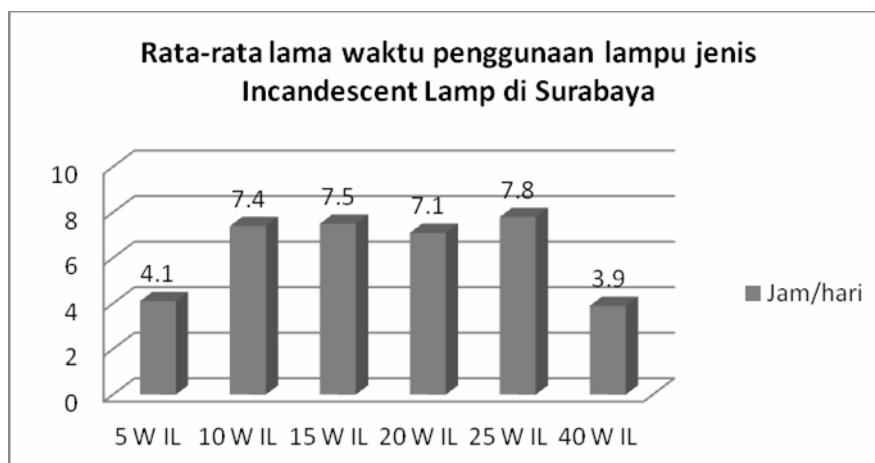
Pada penelitian ini, informasi tentang banyaknya lampu untuk tiap jenis lampu, rata-rata jumlah lampu per rumah tangga, dan rata-rata waktu penggunaan lampu per hari dapat dilihat pada Tabel 5.4. Ukuran daya lampu yang ditampilkan adalah yang jumlah populasi sampelnya diatas 10 W. Sedangkan untuk data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.4. Karakteristik penggunaan lampu di Surabaya (Survey 2012)

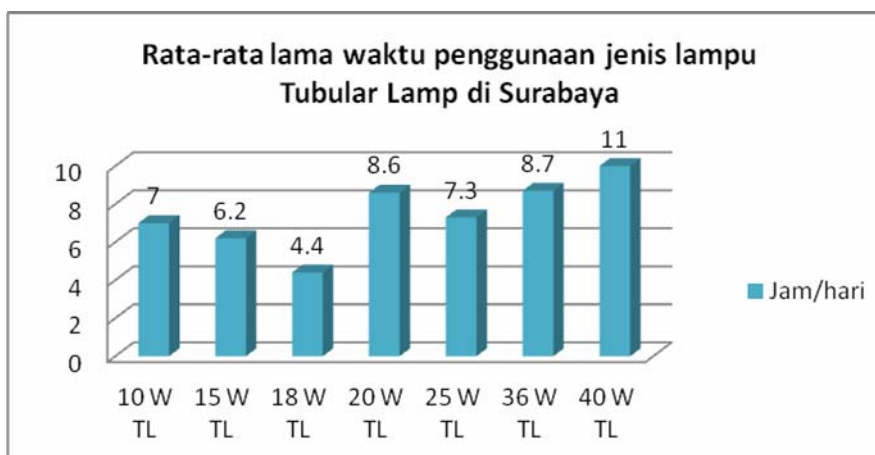
Tipe dan ukuran lampu	Jumlah lampu (hasil survey)	Rata-rata jumlah lampu/rumah tangga	Total jumlah lampu di sektor rumah tangga (perkiraan)	Share (%)	Rata-rata waktu penggunaan/hari (jam)
5 W IL	66	0.17	131,011	1.7	4.1
10 W IL	50	0.13	99,251	1.3	7.4
15 W IL	25	0.07	49,626	0.6	7.5
20 W IL	14	0.04	27,790	0.4	7.1
25 W IL	10	0.03	19,850	0.3	7.8
40 W IL	23	0.06	45,655	0.6	3.9
10 W TL	146	0.38	289,813	3.7	7.0
15 W TL	141	0.37	279,888	3.5	6.2
18 W TL	24	0.06	47,641	0.6	4.4
20 W TL	130	0.34	258,053	3.3	8.6
25 W TL	31	0.08	61,536	0.8	7.3
36 W TL	29	0.08	57,566	0.7	8.7
40 W TL	62	0.16	123,071	1.6	11
5 W CFL	90	0.23	178,652	2.3	6.1
7 W CFL	106	0.28	210,412	2.7	6.5
8 W CFL	273	0.71	541,911	6.8	4.0
9 W CFL	89	0.23	176,667	2.2	6.2
10 W CFL	239	0.62	474,420	6.0	6.9
11 W CFL	254	0.66	504,195	6.4	4.2
12 W CFL	129	0.34	256,068	3.2	4.1
13 W CFL	48	0.13	95,281	1.2	8.1
14 W CFL	153	0.40	303,708	3.8	3.2
15 W CFL	562	1.46	1,115,582	14.1	4.9
18 W CFL	663	1.73	1,316,069	16.6	6.0
20 W CFL	227	0.59	450,600	5.7	6.0
23 W CFL	165	0.43	327,528	4.1	8.5
24 W CFL	24	0.06	47,641	0.6	7.1
25 W CFL	29	0.08	57,566	0.7	4.0
28 W CFL	28	0.07	55,581	0.7	7.2
30 W CFL	14	0.04	27,790	0.4	7.6

IL = incandescent lamp, TL = tubular lamp (fluorescent lamp), CFL = compact fluorescent lamp

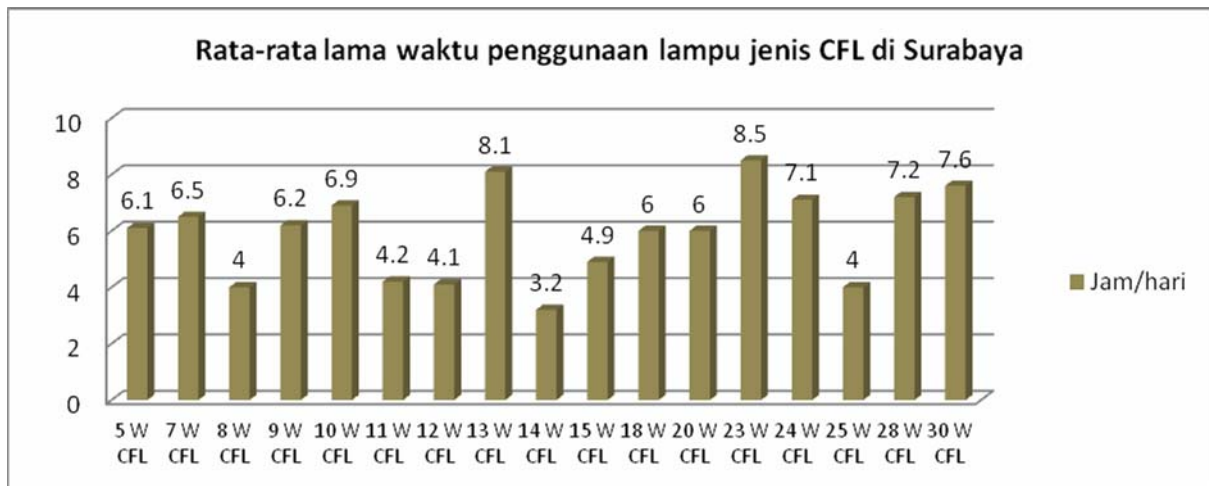
Dari Tabel 5.4, didapatkan *share of ownership* untuk tiga jenis lampu di kota Surabaya masing-masing sebesar 4.7% untuk jenis lampu IL, 14.1% untuk jenis lampu TL, dan 77.4% untuk jenis lampu CFL. Dari tabel yang sama juga terlihat bahwa jenis lampu 18 W CFL merupakan lampu yang paling banyak digunakan (16.6%) di seluruh rumah tangga, sementara itu lampu 25 W IL merupakan jenis lampu yang paling sedikit digunakan, yaitu sebesar 0.3%. Disamping itu, selain jenis lampu yang disebutkan pada Tabel 5.4, ada beberapa ukuran daya lampu yang kepemilikannya sedikit, dengan total komposisi 0.9% untuk jenis lampu IL, 1.1% untuk jenis lampu TL, dan 1.6% untuk jenis lampu CFL. Seperti terlihat pada tabel diatas, lampu 40 W TL merupakan jenis lampu yang rata-rata waktu penggunaannya terlama, yaitu 11 jam/hari. Sementara itu lampu 14 W CFL mempunyai rata-rata waktu penggunaannya paling pendek, yaitu 3.2 jam/hari. Rata-rata lama waktu penggunaan per hari untuk ketiga jenis lampu ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 5.19. Rata-rata lama waktu penggunaan lampu jenis IL di Surabaya (Survey, 2012)

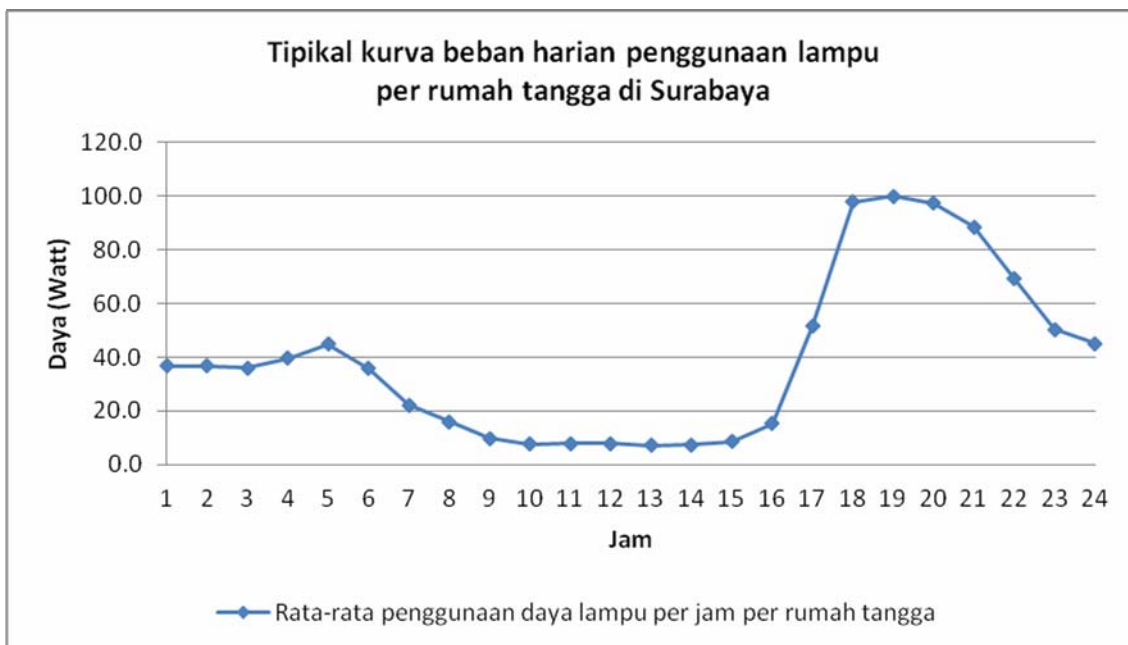


Gambar 5.20. Rata-rata lama waktu penggunaan lampu jenis TL di Surabaya (Survey, 2012)



Gambar 5.21. Rata-rata lama penggunaan lampu jenis CFL di Surabaya (Survey, 2012)

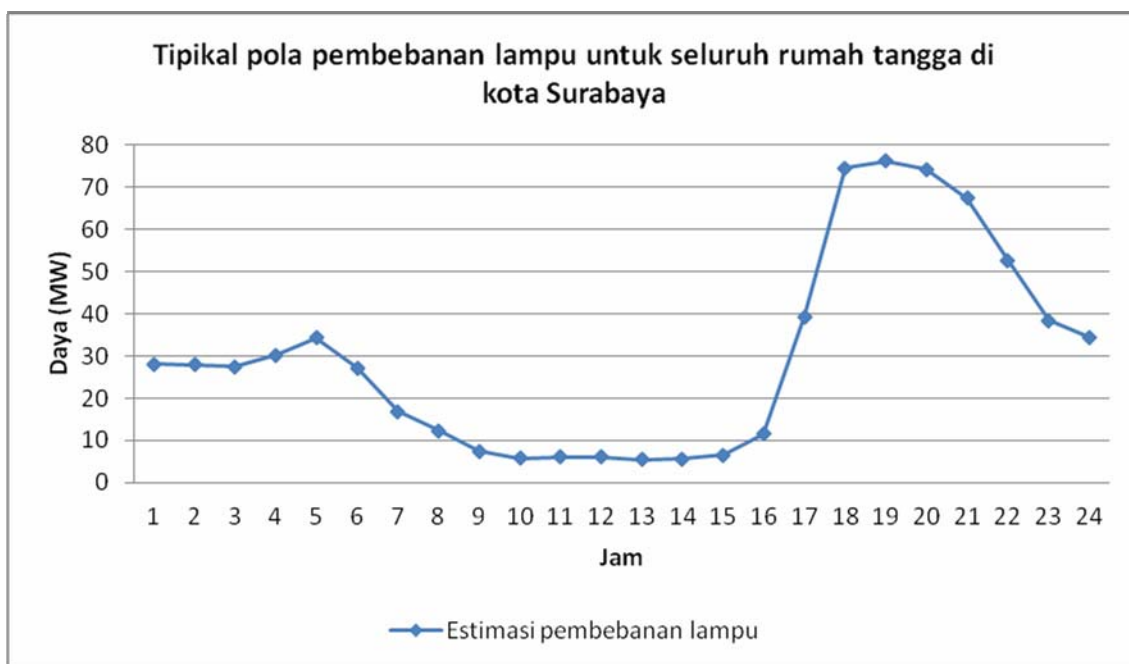
Berdasarkan data daya lampu dan waktu penggunaan yang diperoleh dari survey, rata-rata beban penerangan atau dapat disebut juga kurva beban harian penerangan pada sektor rumah tangga dapat diestimasi seperti yang terlihat pada Gambar 5.22 (Survey 2012), mempertimbangkan total penggunaan lampu dan *share of ownership* sebesar 96.4%, yaitu jenis dan ukuran lampu yang ketika survey terhitung lebih dari 10 buah untuk ukuran sampel.



Gambar 5.22. Tipikal kurva beban harian lampu per rumah tangga di Surabaya

Dari Gambar 5.22, terlihat bahwa beban puncak malam hari yang diakibatkan dari penggunaan lampu di tiap rumah tangga kota Surabaya terjadi pada pukul 18.00 – 20.00

dengan rata-rata beban masing-masing sebesar 97.8 W, 100.1 W, dan 97.5 W, dengan puncak beban pada pukul 19.00. Terlihat pula penggunaan daya relatif konstan dari pukul 10.00 – 14.00, yaitu berkisar 7.1 W – 7.9 W. Setelah itu, terdapat peningkatan konsumsi daya yang tajam dari pukul 15.00 – 18.00. Sementara itu estimasi pola pembebanan lampu untuk seluruh rumah tangga di kota Surabaya didapatkan dari kurva beban harian per rumah tangga dikalikan dengan jumlah partisipan program DSM, yang adalah seluruh rumah tangga terlistriki. Grafik tipikal pola pembebanan lampu untuk seluruh rumah tangga di Surabaya ditampilkan pada Gambar 5.23 (Survey 2012).



Gambar 5.23. Tipikal pembebanan lampu di sektor rumah tangga di Surabaya

Dari Gambar 5.23 terlihat bahwa beban puncak untuk pembebanan lampu pada sistem kelistrikan di kota Surabaya terjadi pada pukul 19.00 dengan estimasi beban sebesar 76.3 MW. Selanjutnya, hasil analisa pola pembebanan dan karakteristik penggunaan lampu akan berguna untuk menentukan potensi penghematan daya dan energi melalui aktifitas Lighting-DSM di kota Surabaya.

5.5. Potensi Penghematan Daya dan Energi

Potensi penghematan daya dan energi pada aktifitas Lighting-DSM dapat ditentukan dari hasil analisa BEU dan AHP. Melalui analisa BEU, kita dapat menentukan *share of ownership* dari jenis dan ukuran lampu sedangkan melalui metode AHP kita dapat

mengetahui urutan preferensi pola atau strategi pembebanan yang dikehendaki oleh pelanggan listrik rumah tangga. Dengan mengetahui *share of ownership* lampu, lebih lanjut kita dapat menentukan potensi penghematan daya dan energi dari total jumlah dan waktu penyalaan lampu *existing* (yang masih dikategorikan sebagai “*standard lamp*”, misalnya *Incandescent lamp* dan *Tubular Lamp*) yang tersedia bila diganti dengan jenis lampu hemat energi. Hal ini dimungkinkan jika komposisi jenis lampu IL dan TL mendominasi. Pada kemungkinan lain, jika jenis lampu CFL sudah banyak digunakan maka potensi penghematan dapat dicapai dengan dua cara sekaligus, yaitu mengganti jenis lampu IL dan TL yang masih ada dengan jenis lampu CFL dan melakukan upaya konservasi energi atau manajemen beban.

Di sisi lain, hasil analisa AHP sangat berguna dalam membantu menentukan potensi penghematan yang dapat dicapai dikaitkan dengan preferensi strategi penghematan yang diinginkan masyarakat. Analisa AHP juga dapat dijadikan semacam analisa pendukung dan fungsi kontrol yang menunjukkan apakah strategi penghematan daya dan energi yang dipilih sesuai dengan yang diharapkan oleh *stakeholders*. Dari hasil analisa AHP didapatkan bahwa strategi *Energy Efficiency* merupakan strategi yang paling banyak dipilih diikuti dengan strategi *Peak Clipping*. Jika merujuk pada hasil yang diperoleh pada analisa BEU, yaitu jenis lampu CFL memiliki *share* terbanyak dibandingkan dengan jenis lampu lainnya dan di sisi lain masih ada potensi penghematan yang dapat diperoleh dari penggantian jenis lampu IL dan TL, maka strategi *Energy Efficiency* dan strategi *Peak Clipping* merupakan pilihan yang tepat untuk dijalankan, dengan mekanisme aktifitas mematikan lampu pada saat waktu beban puncak dan penggantian lampu ke jenis lampu hemat energi (sesuai dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5.6). Penerapan metode BEU untuk kondisi pembebanan lampu saat ini akan berbeda bila dibandingkan dengan, misalnya 10 – 15 tahun yang lalu, dimana penggunaan lampu CFL masih jarang sehingga bentuk aktifitas yang dapat dilaksanakan adalah mengganti jenis lampu standard (IL dan TL) dengan lampu CFL. Dalam perkembangannya, bentuk aktifitas yang dapat dilakukan tidak hanya terbatas pada penggantian lampu tapi juga dalam bentuk konservasi energi (mematikan lampu) dan manajemen beban (*Load Shifting*). Pada studi kasus ini, ada strategi pembebanan lainnya yang dapat dikaji lebih jauh potensinya, yaitu *Load Shifting* yang menempati urutan preferensi ke tiga, yang didapat dari mekanisme mengatur penyalaan lampu, dimana prosentasenya tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan strategi *Peak Clipping* serta prioritas aktifitas pembentuknya. Hal ini merupakan keuntungan dari penerapan analisa AHP, dimana terdapat alternatif lain, dalam hal ini strategi *Load Shifting*, yang dapat dipertimbangkan dalam penentuan potensi penghematan dari aktifitas Lighting-DSM,

khususnya untuk studi kasus kota Surabaya ini. Namun demikian, strategi ini dipertimbangkan untuk dikaji lebih lanjut melalui mekanisme pengedaran kuesioner pada pelaksanaan penelitian selanjutnya (pada tahun ke dua). Pada penelitian ini, dengan memperhatikan hasil analisa BEU dan AHP, potensi penghematan daya dan energi untuk studi kasus kota Surabaya diusulkan untuk dicapai melalui dua mekanisme (seperti alternatif prioritas pada analisa AHP) berikut ini:

- Mekanisme pertama: Penggantian jenis lampu pijar (*Incandescent Lamp*) dan lampu neon (*Fluorescent Lamp/Tubular Lamp*) dengan jenis lampu CFL dan TL yang berdiameter lebih kecil (lebih hemat energi).
- Mekanisme kedua: Mematikan lampu pada saat jam beban puncak (Konservasi energi melalui penerapan strategi *Peak Clipping*).

Secara keseluruhan, potensi penghematan yang dapat dicapai merupakan agregat dari kedua mekanisme ini. Hasil yang didapat dari perhitungan penerapan strategi *Energy Efficiency* dan *Peak Clipping* berupa pengurangan konsumsi daya lampu (*power demand avoided*) pengurangan beban puncak (*peak load avoided*).

Mekanisme pertama diusulkan dengan mempertimbangkan ketersediaan ukuran daya lampu pengganti yang ada di pasaran. Opsi penggantian lampu yang diusulkan adalah:

- Penggantian lampu IL 15, 20, dan 25 W (110 – 240 lm) dengan lampu CFL 5 W
- Penggantian lampu IL 40 W (400 – 450 lm) dengan lampu CFL 8 W
- Penggantian lampu TL 20 W (T12: 1,200 lm) dengan TL 14 W (T5: 1200 lm)
- Penggantian lampu TL 40 W (T12: 2,500 lm) dengan TL 25 W (T5: 2,450 lm)
- Penggantian lampu TL 18 W (T8: 1,050 – 1,350 lm) dengan TL 14 W (T5: 1,200 lm)
- Penggantian lampu TL 36 W (T8: 2,500 – 3,350 lm) dengan TL 28 W (T5: 2,600 lm)

Pertimbangan penggantian lampu IL tidak hanya didasarkan pada kesesuaian lumen tetapi juga komposisi jumlah lampu di lapangan dan jika daya lampu CFL pengganti masih lebih kecil dari daya lampu IL. Di sisi lain, untuk penggantian dengan lampu CFL 5 W, terdapat keuntungan berupa kenaikan lumen/pencahayaan untuk area dimana lampu IL ini digantikan oleh CFL. Sementara itu, *treatment* yang dimungkinkan untuk lampu jenis TL yang terdapat pada Tabel 5.4 adalah dengan mengganti jenis lampu T12 (*tube diameter* 38 mm) dengan jenis lampu TL terbaru yaitu T5 (*tube diameter* 16 mm). Sementara itu, jenis lampu TL T8 (*diameter* 16 mm) sebagian besar tetap dipertahankan karena konsumsi daya terhadap lumen yang dimiliki relatif sama atau lebih kecil dibandingkan dengan lampu CFL sejenis. Misalnya, TL 10 W memiliki sekitar 650 lm, dibanding dengan CFL 11 W dengan 660 lm,

atau TL 15 W memiliki kuat pencahayaan yang sama dengan CFL 17 W, yaitu 950 lm, kecuali untuk TL 18 W (1,050 – 1,350 lm) memungkinkan untuk diganti dengan TL 14 W (T5: 1,200 W), dan TL 36 W (2,500 – 3,350 lm) diganti dengan TL 28 W (T5: 2,600 lm). Kemungkinan lainnya, potensi penghematan untuk jenis lampu T8 tetap terbuka dengan menggantinya dengan lampu LED terutama untuk jenis T8 18 dan 36 W yang saat ini telah banyak digunakan. Pembahasan penggantian lampu T8 dengan lampu LED akan dilakukan pada penelitian selanjutnya (tahun ke dua) dengan mengikutsertakan pertanyaan tentang kemungkinan penggantian lampu TL dengan lampu LED karena investasi awal untuk pembelian lampu LED sampai saat ini masih sangat mahal (dan diprediksi masih cukup mahal untuk satu tahun yang akan datang). Estimasi penghematan daya yang didapat, yaitu *power demand avoided* dan *peak load avoided* ditampilkan pada Tabel 5.5 berikut ini.

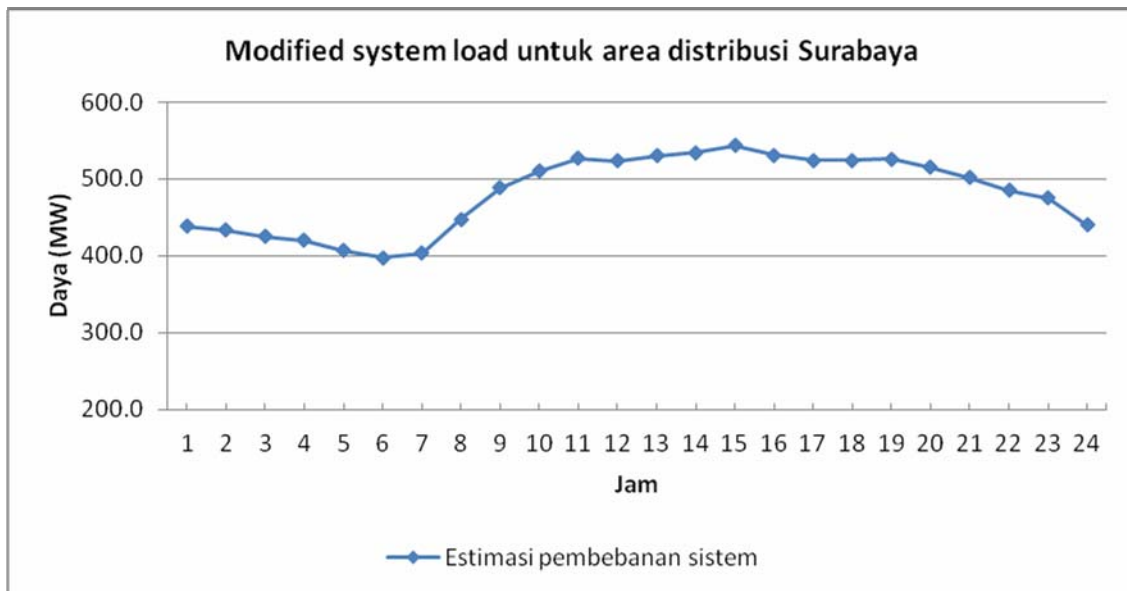
Tabel 5.5. Estimasi penghematan daya dari penggantian lampu IL dengan CFL

Penggantian Lampu	Pengurangan konsumsi daya lampu (MW)	Pengurangan daya beban puncak (MW)
IL 15 W dengan CFL 5 W	0.496	0.07
IL 20 W dengan CFL 5 W	0.417	0.06
IL 25 W dengan CFL 5 W	0.397	0.06
IL 40 W dengan CFL 8 W	1.461	0.20
TL 20 W dengan TL 14 W	1.548	0.22
TL 40 W dengan TL 25 W	1.846	0.26
TL 18 W dengan TL 14 W	0.191	0.03
TL 36 W dengan TL 28 W	0.461	0.06
TOTAL	6.82	0.95

Dengan memperhatikan karakteristik penggunaan lampu seperti yang ditampilkan di Tabel 5.4, nilai pengurangan konsumsi daya lampu pada Tabel 5.5, misalkan untuk penggantian IL 25 W dengan CFL 5 W, dapat diperoleh dari daya lampu dikalikan dengan estimasi total jumlah lampu di sektor rumah tangga, sebagai berikut:

- Konsumsi daya oleh IL 25 W = 25 W x 19,850 = 496,250 W
- Konsumsi daya oleh CFL 5 W = 5 W x 19,850 = 99,250 W (Rugi-rugi daya pada penggunaan ballast tidak diperhitungkan)
- Pengurangan konsumsi daya = 397,000 W

Sementara itu, nilai pengurangan daya beban puncak diperoleh dengan memperhatikan pengurangan konsumsi daya, estimasi total jumlah lampu, *Peak Coincidence Factors* (PEC) dan rugi-rugi penyaluran daya pada jaringan transmisi dan distribusi. Untuk studi kasus pembebanan lampu, PEC merupakan perbandingan antara total daya lampu selama waktu beban puncak dengan beban puncak sistem. Sehubungan dengan hal ini dibutuhkan data daya beban puncak sistem distribusi Surabaya (*system peak load*). Sebagai referensi, digunakan data *system load* untuk tahun 2011 yang diperoleh dari PT. PLN Distribusi Jawa Timur APD Surabaya (terdapat pada lampiran). Untuk kepentingan perhitungan, digunakan rata-rata daya beban puncak dari bulan Juni – September tahun 2011 sehingga didapatkan besaran *system peak load* (MW). Pengambilan nilai beban puncak sistem selama empat bulan ini bertujuan untuk menyamakan periode dengan lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan survey, yaitu 4 bulan mulai bulan Juni – September 2012. Dalam hal ini asumsi yang digunakan adalah tidak adanya perubahan penambahan beban lampu pada pelanggan rumah tangga sejak tahun lalu. Pada Gambar 5.22, didapatkan estimasi total daya lampu pada beban puncak (pukul 19.00) sebesar 74 MW. Sementara itu, estimasi *modified system load* untuk area studi ditampilkan pada Gambar 5.24.



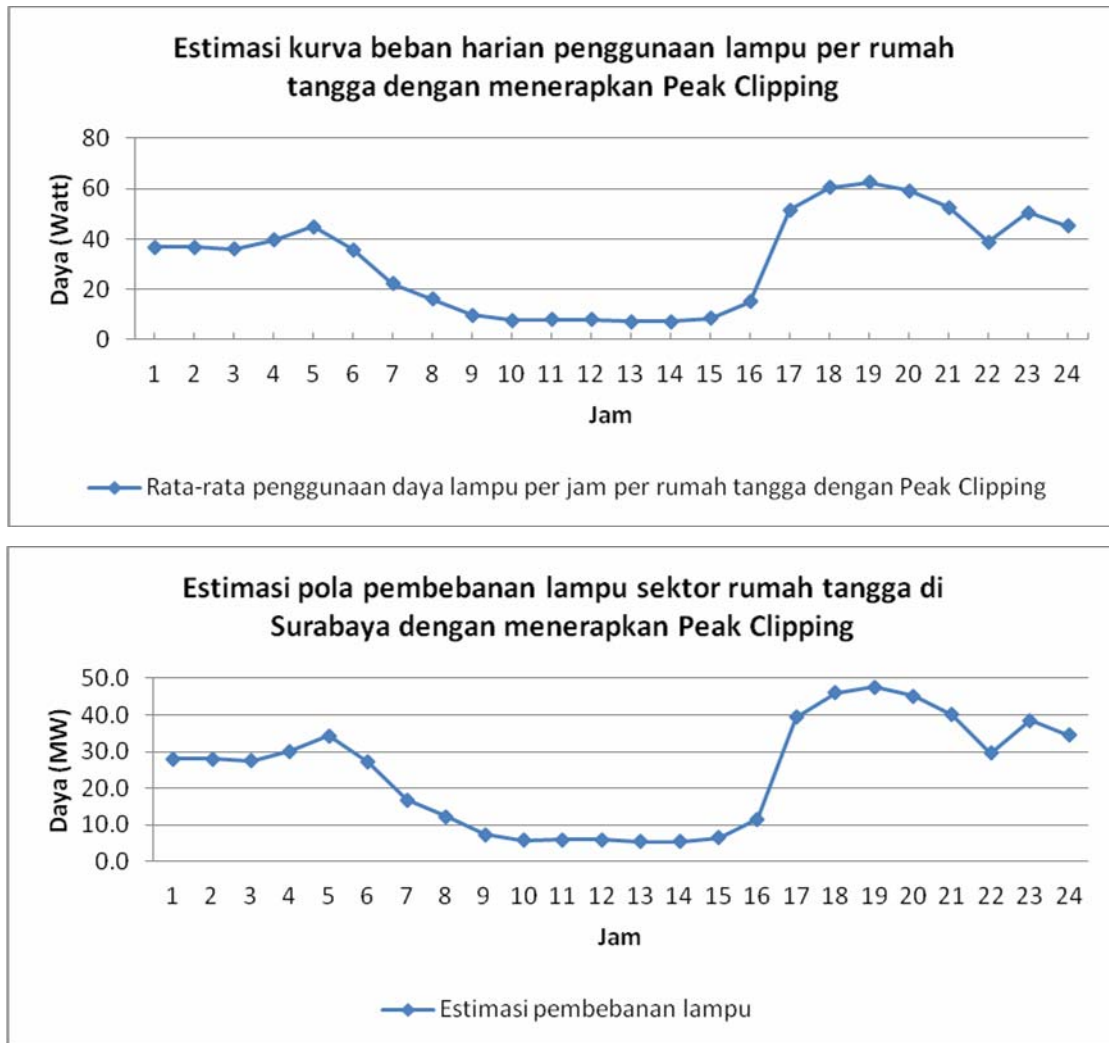
Gambar. 5.24. Estimasi *modified system load* untuk area distribusi Surabaya

Penjelasan untuk Gambar 5.24 adalah sebagai berikut: area Distribusi Surabaya yang dipilih untuk menentukan *system load* adalah area Surabaya Utara, Surabaya Selatan, dan area Surabaya Barat-Babudan. Untuk suplai trafo area Surabaya Barat, secara demografi sebagian wilayah area Surabaya Barat bukan merupakan bagian dari kota Surabaya dan suplai

listriknnya banyak diserap oleh sektor industri besar, yaitu dari trafo Karangpilang, Ispatindo, Krian, dan Waru yang menyebabkan *area peak load* tidak terdapat pada pukul 19.00. Khusus untuk Surabaya Selatan, trafo Rungkut dan Waru juga dikeluarkan dari analisa karena terdapat kontribusi yang cukup signifikan terhadap rata-rata *system peak load* dari suplai listrik untuk daerah industri Rungkut (SIER) dan sebagian daerah Waru (Berbek industri). Oleh karena itu, *system load* yang baru dinamakan *modified system load*. Dengan demikian rata-rata *modified system load* untuk area Surabaya Utara, Surabaya Selatan (minus Rungkut dan Waru) serta Surabaya Barat-Babakan pada pukul 19.00 adalah sebesar 525.6 MW (terdapat pada lampiran). Hal ini berarti pembebanan lampu yang mempunyai *peak load* pada pukul 19.00 tidak *coincidence* dengan *system load* pada pukul 19.00 tersebut karena terlihat dari Gambar 5.23, *system peak load* terjadi pada pukul 15.00 dengan rata-rata daya sebesar 543 MW walaupun pembebanan dari trafo Rungkut, Waru, dan sebagian besar trafo di area Surabaya Barat tidak diikutsertakan. Di sisi lain, rugi-rugi sistem distribusi yang digunakan adalah rugi-rugi untuk area distribusi Jawa Timur (Statistik PLN 2011) sebesar 7.3%. Dengan demikian nilai PEC yang didapatkan (untuk perbandingan pembebanan pada pukul 19.00) adalah sebesar 0.15 sehingga pengurangan daya beban puncak, misalkan untuk penggantian IL 40 W dengan CFL 8 W dapat diperoleh dari: $0.496 \text{ MW} \times (0.15/1-0.073) = 0.07 \text{ MW}$. Pada Tabel 5.5, terlihat bahwa total nilai estimasi pengurangan konsumsi daya lampu adalah sebesar 6.82 MW yang berkontribusi pada pengurangan daya beban sistem (pada pukul 19.00) sebesar 0.95 MW. Relatif kecilnya kontribusi pengurangan konsumsi daya lampu terhadap pengurangan *system peak load* disebabkan karena relatif kecilnya nilai PEC untuk kota Surabaya dan relatif rendahnya rugi-rugi saluran distribusi. Kemungkinan lain adalah rendahnya nilai estimasi *lighting load* (Gambar 5.22) yang didapatkan melalui analisa BEU dibandingkan dengan keadaan pembebanan lampu sebenarnya. Secara umum, keadaan ini akan berbeda untuk tiap kota karena karakteristik pembebanan yang berbeda. Kota dengan banyak kawasan industri seperti Surabaya akan mempunyai PEC yang lebih rendah dibandingkan dengan kota tanpa atau mempunyai sedikit pelanggan listrik sektor industri, seperti yang terlihat untuk studi sejenis di daerah Sulawesi Utara (Rumbayan, 2001).

Mekanisme kedua diusulkan dengan mengacu pada preferensi strategi *Peak Clipping*. Dalam hal ini, besarnya pengurangan daya lampu dan pengurangan beban puncak sistem diperoleh dari estimasi berkurangnya jumlah daya lampu karena selama periode waktu beban puncak (pukul 19.00 – 22.00, ditambah pukul 18.00) dimana ada satu lampu yang dimatikan untuk setiap jenis dan ukuran lampu yang ditampilkan pada Tabel 5.4, akan terjadi pengurangan rata-rata jam penggunaan lampu per hari. Evaluasi dampak penerapan

mekanisme ini memperhatikan dua kondisi, yaitu tanpa adanya penggantian lampu dan dengan mengikutsertakan opsi penggantian lampu. Penerapan strategi *Peak Clipping* ini akan berakibat pada turunnya pembebanan lampu beserta lama waktu penggunaan lampu yang dimaksud. Estimasi kurva beban harian per rumah tangga dan untuk seluruh rumah tangga yang dihasilkan dari penerapan strategi *Peak Clipping* (tanpa melakukan penggantian lampu) di Surabaya dapat dilihat pada Gambar 5.25.

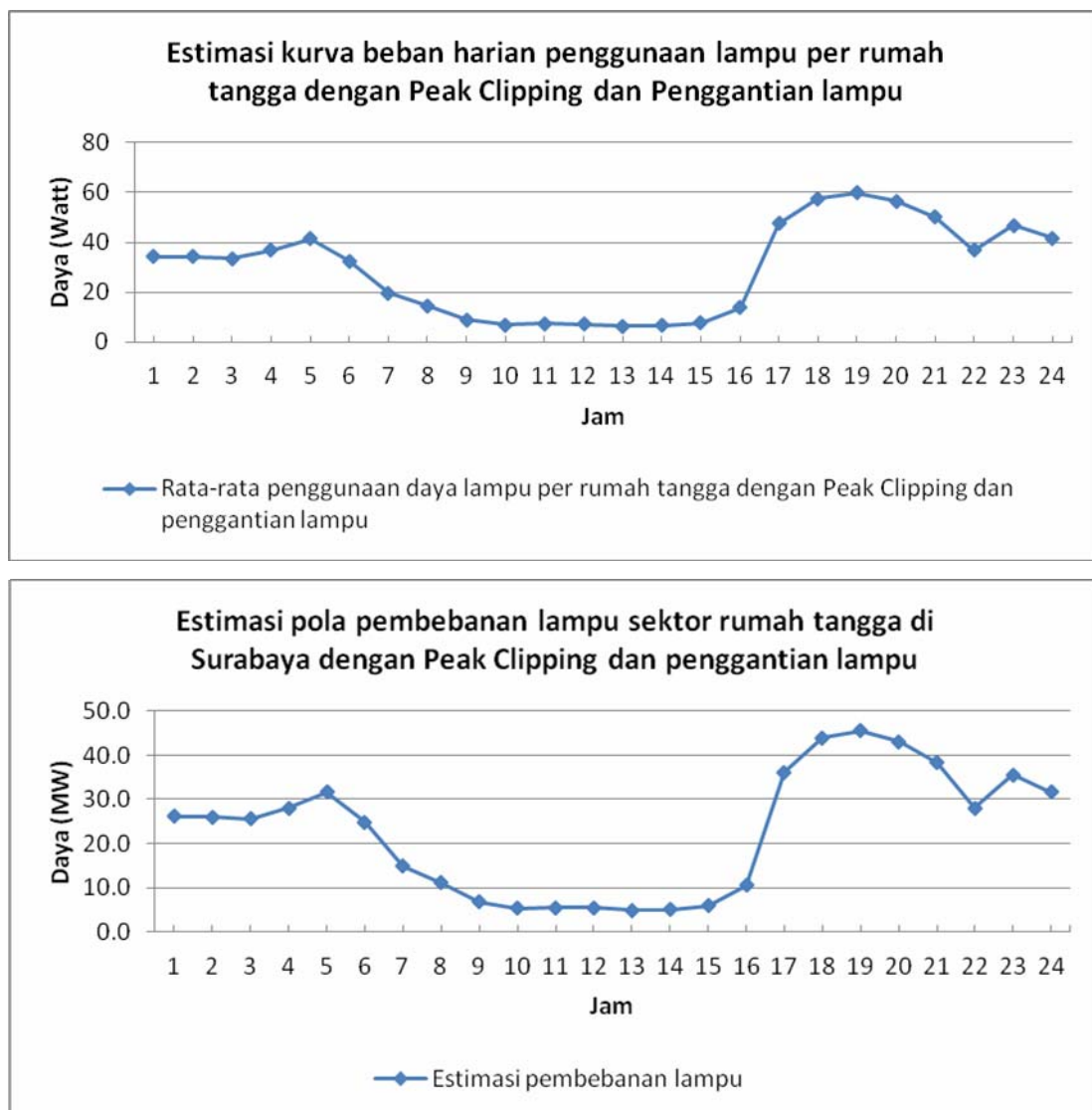


Gambar 5.25. Estimasi kurva beban harian pembebanan lampu per rumah tangga (atas) dan seluruh rumah tangga dengan *Peak Clipping* tanpa melakukan penggantian lampu (bawah).

Terlihat bahwa penerapan strategi *Peak Clipping* (tanpa melakukan penggantian lampu) mempunyai dampak sebagai berikut:

- Terdapat potensi penurunan pembebanan lampu per rumah tangga dan untuk seluruh rumah tangga saat beban puncak masing-masing sebesar 37.7 W (dari 100.1 W menjadi 62.43 W) dan 28.7 MW (dari 76.3 MW menjadi 47.6 MW).
- Terdapat potensi pengurangan daya beban puncak sistem distribusi Surabaya (pada pukul 19.00) sebesar 37.7 MW, atau dari 525.7 MW menjadi 488 MW, yang diperoleh dari selisih pembebanan lampu sebelum dan sesudah diterapkannya strategi *Peak Clipping*.

Pada kondisi kedua, mekanisme penggantian lampu dengan jenis lampu hemat energi (CFL dan TL-T8) dan mekanisme *Peak Clipping* dilaksanakan secara simultan untuk dievaluasi dampaknya. Hasil evaluasi dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26. Estimasi kurva beban harian pembebanan lampu per rumah tangga (atas) dan seluruh rumah tangga dengan *Peak Clipping* dan penggantian lampu (bawah).

Dari Gambar 5.26 terlihat bahwa penerapan strategi Peak Clipping secara simultan dengan penggantian lampu memberikan dampak positif berupa:

- Terdapatnya potensi tambahan penurunan pembebanan lampu per rumah tangga dan untuk seluruh rumah tangga saat beban puncak masing-masing sebesar 2.69 W (dari 62.43 W menjadi 59.74 W) dan 2.1 MW (dari 47.6 MW menjadi 45.5 MW), sehingga secara total potensi penurunan pembebanan lampu per rumah tangga dan untuk sektor rumah tangga saat beban puncak pukul 19.00 adalah masing-masing 40.39 W dan 30.8 MW.
- Terdapat potensi pengurangan daya beban puncak sistem distribusi Surabaya (pada pukul 19.00) sebesar 40.8 MW, atau dari 525.7 MW menjadi 484.9 MW, yang diperoleh dari selisih pembebanan lampu sebelum dan sesudah diterapkannya strategi *Peak Clipping*.

Dengan demikian, secara keseluruhan terdapat potensi penurunan beban puncak sistem sebesar kurang lebih 7.7%.

Penggunaan energi (*energy use*) dan **penghematan energi (*energy saving*)** dari kedua mekanisme diatas (penggantian lampu dan *Peak Clipping*) dapat ditentukan dengan memperhatikan jumlah lampu, rata-rata waktu penggunaan lampu, konsumsi daya, dan *diversity factor* (DF). DF atau dapat disebut faktor utilitas merupakan ukuran indeks, dimana dalam seluruh populasi peralatan, dalam hal ini lampu, terdapat sebagian lampu yang tidak digunakan. DF dari setiap jenis lampu dapat ditentukan untuk setiap jam sebagai perbandingan jumlah lampu yang dinyalakan pada suatu periode tertentu terhadap total jumlah lampu yang tersedia. Sementara itu, potensi penghematan energi dalam penelitian ini tidak hanya dicapai dari penggantian lampu dengan lampu hemat energi (mekanisme pertama) saja, melainkan juga dicapai oleh penerapan strategi *Peak Clipping*. Secara keseluruhan, total potensi penghematan energi dari aktifitas Lighting-DSM merupakan agregat dari penghematan yang diperoleh untuk seluruh partisipan program. Potensi penghematan energi yang diperoleh merepresentasikan besarnya pembangkitan listrik yang dapat dihindari.

Metode perhitungan penghematan energi dilakukan dengan prinsip yang sama dengan metode perhitungan pengurangan beban puncak sistem. Dalam hal ini, variabel PCF diganti dengan variabel DF dan menambahkan rata-rata waktu penggunaan lampu dalam rumusan perhitungan dan tetap memperhitungkan. Secara keseluruhan, rekapitulasi hasil perhitungan penggunaan energi dan penghematan energi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini (hasil perhitungan rinci terdapat pada lampiran).

Tabel 5.6. Penggunaan energi pada beban lampu dan potensi penghematannya pada aktifitas *Lighting-DSM* di Surabaya

Kondisi penggunaan lampu	Mekanisme aktifitas	Penggunaan energi (GWh)	Penghematan energi (GWh)*
Kondisi existing (Tabel 5.4)		1,747.2	
Usulan aktifitas <i>Lighting-DSM</i>	Penggantian lampu existing dengan lampu hemat energi (TL-T8 dan CFL)	1,574.9	172.3
	Penerapan strategi <i>Peak Clipping</i> tanpa melakukan penggantian lampu	1,401.7	345.5
	Penerapan strategi <i>Peak Clipping</i> simultan dengan penggantian lampu	1,271.2	476

*Penghematan energi dari kondisi existing

Dari Tabel 5.6 didapatkan penggunaan energi dan potensi penghematannya pada aktifitas *Lighting-DSM* melalui dua mekanisme besar (penggantian lampu dan penerapan *Peak Clipping*). Dari usulan aktifitas yang telah dievaluasi secara teknis, potensi penghematan terbesar didapatkan dari penerapan strategi *Peak Clipping* dan *Energy Efficiency* secara simultan, yaitu melalui penggantian lampu, sebesar 476 GWh atau 27.2% dari kondisi pembebanan lampu *existing*. Dari hasil analisa dengan metode BEU, terlihat bahwa potensi penghematan melalui mekanisme penggantian beberapa lampu existing dengan lampu hemat energi (CFL dan TL-T8) tidak memberikan dampak yang cukup besar dari sisi kuantitas penghematan. Hal ini terjadi karena proporsi kepemilikan lampu jenis IL dan TL yang diusulkan untuk diganti sangat sedikit dibandingkan dengan share kepemilikan jenis lampu CFL yang sudah secara luas dipergunakan. Namun demikian, apabila mekanisme ini digabungkan dengan strategi *Peak Clipping*, hasil penghematan energinya akan meningkat lebih dari 100%. Di sisi lain, penerapan strategi ini sangat mungkin dilakukan karena mendapat dukungan preferensi pelanggan sektor rumah tangga di Surabaya.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini, evaluasi perencanaan aktifitas Lighting-DSM telah dilakukan dari aspek teknis dan aspek pengambilan keputusan berbasis multi kriteria, yaitu melalui analisa BEU dan AHP. Kegiatan ini mula-mula diawali dengan pengambilan data penggunaan lampu di sektor rumah tangga di Surabaya. Dari proses penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Kerangka metode *assessment* multi-dimensi yang diusulkan telah dapat digunakan sebagai sebuah alat perencanaan aktifitas *Lighting-DSM* di sektor rumah tangga, dimana aspek teknis dan aspek prefensi dapat diaplikasikan secara bersama-sama dan saling mendukung melalui analisa BEU dan AHP.
- Untuk studi kasus perencanaan aktifitas *Lighting-DSM* di kota Surabaya, didapati *share of ownership* lampu CFL adalah yang tertinggi diikuti oleh lampu TL dan lampu IL, masing-masing sebesar 77.6%, 14%, dan 4.7%, ditambah dengan campuran ketiga jenis lampu dengan kepemilikan kurang dari 10 untuk seluruh total sampel sebesar 3.5%. Hal ini mempengaruhi mekanisme aktifitas yang dapat dijalankan.
- Usulan strategi pembebanan lampu pada program *Lighting-DSM* yang sesuai dengan kondisi pembebanan lampu di kota Surabaya menurut analisa BEU dan AHP adalah penggantian lampu existing dengan lampu hemat energi (TL-T8 dan CFL) yang merepresentasikan penerapan pola pembebanan *Energy Efficiency*, penerapan strategi *Peak Clipping* tanpa melakukan penggantian lampu, dan penerapan strategi *Peak Clipping* secara simultan dengan penggantian lampu, dimana potensi penghematan energi listrik dapat dicapai hingga mencapai 27.2% dari kondisi pembebanan *existing*.
- Di sisi lain, penerapan strategi *Peak Clipping* secara simultan dengan penggantian lampu memberikan dampak positif berupa terdapatnya potensi tambahan penurunan pembebanan lampu per rumah tangga dan untuk seluruh rumah tangga saat beban puncak masing-masing sebesar 2.69 W (dari 62.43 W menjadi 59.74 W) dan 2.1 MW (dari 47.6 MW 45.5 MW), sehingga secara total potensi penurunan pembebanan lampu per rumah tangga dan untuk sektor rumah tangga saat beban puncak pukul 19.00 adalah masing-masing 40.39 W dan 30.8 MW.
- Terdapat potensi pengurangan daya beban puncak sistem distribusi Surabaya (pada pukul 19.00) sebesar 40.8 MW, atau dari 525.7 MW menjadi 484.9 MW, yang

diperoleh dari selisih pembebanan lampu sebelum dan sesudah diterapkannya strategi *Peak Clipping*. Dengan demikian, secara keseluruhan terdapat potensi penurunan beban puncak sistem sebesar kurang lebih 7.7%.

Saran-saran dan harapan yang dapat disampaikan antara lain:

- Hasil penelitian yang telah dicapai pada tahun pertama ini mencerminkan setengah dari kerangka assessment multi-dimensi yang diusulkan. Untuk itu, rangkaian penelitian ini disarankan/diharapkan dapat diteruskan dengan aktifitas penelitian pada tahun kedua dengan mengikutsertakan analisa aspek ekonomis dan aspek lingkungan untuk mendapatkan sebuah perencanaan aktifitas *Lighting-DSM* yang komprehensif.
- Disamping itu, munculnya jenis lampu LED yang mulai marak di pasaran membuka peluang analisa lebih lanjut, baik dari aspek teknis maupun ekonomis, disamping itu juga dapat dimasukkan
- Hasil penelitian pada tahun pertama ini dapat digunakan sebagai referensi indikatif dari sisi teknis dan preferensi pola pembebanan berbasis multi-kriteria, dimana analisa data yang dilakukan menggunakan beberapa asumsi dasar, diantaranya jenis lampu yang disurvei dibatasi untuk tiga jenis, yaitu IL, TL, dan CFL, potensi penghematan energy dan beban puncak ditentukan dengan benchmark kurva beban harian sistem distribusi Surabaya yang telah dimodifikasi area cakupan dan besar bebannya untuk mendapatkan kurva beban yang “lebih bebas” dari pengaruh beban industri dan berfokus pada kota Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anandita, W. (2009). Pemilihan Sektor Pelanggan Dalam Penerapan Demand Side Management untuk Pengaturan Beban Listrik Dengan Pendekatan Delphi AHP di PLN Distribusi Jawa Timur. Skripsi S1 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Badan Pusat Statistik (2010). Hasil Survei Sosial Ekonomi Nasional Tahun 2009 Provinsi Jawa Timur. BPS Provinsi Jawa Timur, Surabaya.
- Badan Pusat Statistik (2010). Surabaya Dalam Angka 2009. BPS Kota Surabaya.
- Bonneville, E. dan Rialhe, A. (2006). Demand Side Management for residential and commercial end-users. Didownload dari: www.leonardo-energy.org/Files/DSM-commerce.pdf
- Boyle, S. (1996). DSM Progress and Lessons in the Global Context, Energy Policy. Vol 24, No.4, pp 345-359.
- Charles River Associates (2005). Primer on Demand Side Management with emphasis on price-responsive programs. Oakland, California.
- Deok K. L., Sang Y. P., Soo U. P. (2007). Development of assessment model for demand-side management investment programs in Korea. Energy Policy 35 (2007) 5585–5590.
- EGAT (1997). Compact Fluorescent Lamp Program — Program Plan Evaluation Plan, Demand-Side Management Office, Planning and Evaluation Department. Bangkok, Thailand.
- Gellings, C.W. dan Chamberlin, J.G. (1987). Demand-Side Management: Concepts and Methods. Fairmont Press Inc.
- Gellings, C.W. dan Chamberlin, J.G. (1993). Demand-Side Management: Concepts and Methods. Fairmont Press Inc.
- Gottwalt, S., et.al. (2011), Demand-side management-A simulation of household behavior under variable prices, Energy Policy, Vol. 39, pp 8163-8174.
- Hidayat, W.A. (2004). Studi penerapan Demand Side Management (DSM) dengan lampu hemat energi pada pemakaian waktu beban puncak PLN APJ Surabaya Selatan. Skripsi S1 Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Jeromin, I., Balzer, G., Backes, J., Huber, R. (2009). Life cycle cost analysis of transmission and distribution systems. *IEEE PowerTech Conference*, Bucharest, Romania, 28 June-2 July 2009.

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI (2007). Undang-Undang No. 30/2007 tentang Energi. Didownload dari: <http://www.esdm.go.id/prokum/uu/2007/uu-30-2007.pdf>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI (2008). Siaran Pers No. 33/HUMAS/DESDM/2008. ESCAP serukan DSM jadi program kebijakan energi. Didownload dari: <http://www.esdm.go.id/siaran-pers/55-siaran-pers/1715-escap-serukan-demand-side-management-dsm-jadi-program-kebijakan-energi.html>
- Mahlia, T.M.I. et.al. (2011). Life cycle cost analysis and payback period of lighting retrofit at the University of Malaya. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 2, February 2011, Pages 1125-1132.
- Mykytyn, R. B. (1995). *Overcoming Consumer Resistance to Energy Efficient by Taking and Evolutionary Approach to DSM-Starting with CFLs*, in *Competitive Energy management and Environmental Technologies*, The Fairmont Press, USA.
- Narjanto (2001). *Implementasi Demand Side Management di Pulau Madura Dengan Peak Load Clipping Lewat Konservasi Energi Berupa Lampu Hemat Energi Pada Sektor Rumah Tangga*. Thesis S2 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- PT. PLN (Persero) (2010). *Laporan Tahunan PLN 2009*. Sekretaris Perusahaan PT. PLN (Persero), Jakarta.
- Reddy, B.S. and Parikh, J.K. (1997), *Economic and environmental impacts of demand side management programmes*, *Energy Policy*, Vol. 25, No. 3, pp 349-356.
- Rumbayan, M. (2001). *Application of Renewable Energy and Demand Side Management (DSM) to meet electricity Demand in an Island Community: The case of North Sulawesi, Indonesia*. Master Thesis, Asian Institute Technology, Thailand.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, first ed. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. (1990). *How to make a decision: the analytic hierarchy process*. *Eur J Oper Res* 1990; 48(1):2-8.
- Schipper, L. and Meyers, S. (1991). *Improving Appliance Efficiency in Indonesia*, *Energy Policy*, July/August 1991, pp. 578-587.
- Suharto (2001). *Implementasi Program Demand Side Management (DSM) di PT. PLN (Persero) Cabang Situbondo*. Thesis S2 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Surapong, C. (2000). *Lecture Notes of Demand Side Management*”, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

- Shrestha, R. M, Natarajan, B, Chakaravarti, K. K and Shrestha, R, (1998). Environmental and Power Generation Implications of Efficient Electrical Appliances for India. *Energy*, Vol. 23, pp.1065-1072.
- Shrestha, R.M., Biswas, W.K., and Shrestha, R. (1998) The Implication of Efficient Electrical Appliances for CO₂ Mitigation and Power Generation: The case of Nepal, *International Journal Environment and Pollution*, Vol.9, No.2/3
- Sriamonkitkul, W. et. Al. (2010). Life Cycle Cost of Lighting System in Various Groups of End user in Thailand. *Proceeding PEA-AIT International Conference on Energy and Sustainable Development: Issues and Strategies (ESD 2010) Chiang Mai, Thailand. 2-4 June 2010.*
- The Research Advisors (2012), *Sample Size Table*, Franklin, MA., 2012. Didownload dari: <http://research-advisors.com/tools/SampleSize.htm>
- Tribwell, L.S. and Lerman, D.I., (1996), *Baseline Residential Lighting Energy Use Study*, Didownload dari: <http://eec.ucdavis.edu/ACEEE/1994-96/1996/VOL03/153.PDF>.
- UN Framework Convention on Climate Change (1997). *Mexico High Efficiency Lighting Pilot Project*. Didownload dari: www-esd.worldbank.org/aij/mexaij.pdf.
- Vashishtha, S. dan Ramachandran, M. (2005). Multicriteria evaluation of Demand Side Management (DSM) implementation strategies in the Indian power sector. *Energy* 31 (2006) pp. 2210–2225
- Violette, D, Mudd, C, and Keneipp, M, (2000), "An Initial View on Methodologies for Emission Baselines: Case Study of Energy Efficiency", IEA and OECD information paper, Paris.

LAMPIRAN

- Hal 53 A:
Biodata peneliti
- Hal 53 B:
Form kuesioner penggunaan lampu di rumah tangga
- Hal 53 C:
Data pendukung (BPS, data kurva beban sistem, rekapitulasi responden, perhitungan metode BEU, perhitungan penggunaan energi dan potensi penghematannya.
- Hal 53 D:
Foto CD Software Expertchoice® 11.5

DRAFT ARTIKEL ILMIAH

Beberapa artikel yang telah dihasilkan dan telah dipublikasikan/sedang dalam proses publikasi dari penelitian pada tahun pertama ini diantaranya:

1. Penentuan Pola Pembebanan pada Aktifitas Lighting-Demand Side Management di Sektor Rumah Tangga Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process
Seminar Nasional Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia (FORTEI) 2012, UI Depok, 22 September 2012 (hal. 53 A)
2. Baseline Energy Use Based Residential Lighting Load Curve Estimation: A Case of Surabaya
Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE) 2012, Politeknik Negeri Jakarta, 6 Desember 2012. (hal. 53 B)
3. Multi-Dimensional Assessment for Residential Lighting Demand Side Management: A Proposed Framework (abstrak)
The 2nd International Conference on Engineering and Technology Innovation (ICETI) 2012, Kaohsiung, Taiwan, 2-6 Nopember 2012 (Mendapat dana bantuan seminar luar negeri DIKTI) (hal. 53 C)
4. Multi-Dimensional Assessment for Residential Lighting Demand Side Management: A Proposed Framework (Modified version)
Applied Mechanics and Materials Journal (AMM), ISSN: 1660-9336, Trans Tech Publication Inc. (SCOPUS indexed), revised version submitted. (hal. 53 D).

SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN

Pada tahun ke dua, penelitian akan dilanjutkan dengan fokus analisa ekonomis dan analisa emisi. Untuk mempertajam hasil analisa BEU dan AHP, dimana strategi *Energy Efficiency*, *Peak Clipping*, dan *Valley Filling* merupakan tiga strategi yang menjadi preferensi dan ketiganya saling terkait/saling mempengaruhi, akan dilakukan survey lanjutan untuk mendapatkan data teknis berupa total daya lampu yang dapat dikurangi pada beban puncak maupun di luar waktu beban puncak, termasuk melalui aktifitas mengatur waktu penyalaan lampu (*Load Shifting*) yang bersesuaian dengan lama waktu rata-rata penggunaan lampu. Jumlah partisipan survey di tahun ke dua ini akan diambil / dibatasi dari responden yang memilih tiga strategi diatas pada saat survey pertama dilakukan. Mencermati perkembangan teknologi lampu LED yang mulai banyak dipasarkan, potensi penghematan daya dan energi untuk tahun ke dua juga mengikutsertakan aktifitas penggantian lampu TL dengan lampu LED, dimana form kuesioner akan mengikutsertakan pertanyaan tentang kemungkinan penggantian lampu TL dengan lampu LED karena investasi awal untuk pembelian lampu LED sampai saat ini masih sangat mahal (dan diprediksi masih cukup mahal untuk satu tahun yang akan datang). Analisa tidak hanya terbatas pada potensi penghematan secara teknis (daya dan energi), tetapi juga mempertimbangkan analisa ekonomis.

Untuk analisa ekonomis, potensi penghematan daya dan energi yang dicapai dari analisa BEU dievaluasi menggunakan analisa *Cost and Benefit* dan analisa *Life Cycle Cost*. Analisa *Cost and Benefit* ditambahkan pada tahun ke dua untuk memperkuat analisa ekonomis. Sementara itu, analisa emisi akan menggunakan metode *End Use Energy Saving*. Secara keseluruhan, hasil yang didapat dari analisa BEU dan AHP (khususnya penajaman hasil analisa BEU pada tahun ke dua) yaitu potensi penghematan daya dan energi akan menjadi input untuk analisa ekonomis dan analisa emisi. Di akhir penelitian, akan didapatkan rekomendasi jenis aktifitas *Lighting-DSM* yang bersesuaian dengan keadaan kota Surabaya beserta dengan potensi penghematan dari sisi teknis, ekonomis, dan emisi. Pada akhirnya, kerangka/*framework* utuh dari metode *assessment* multi-dimensi untuk kegiatan *Lighting-DSM* di sektor rumah tangga dengan metode BEU, AHP, LCC, dan EES yang diusulkan dapat dijadikan panduan dan diaplikasikan untuk sektor rumah tangga di area lain. Secara lebih detail, usulan penelitian lanjutan untuk tahun kedua disampaikan secara terpisah melalui proposal penelitian lanjutan.