

Penentuan Pola Pembebanan pada Aktifitas Lighting-Demand Side Management di Sektor Rumah Tangga Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process

Y. Tanoto¹, M. Santoso², E. Hosea³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, Jl Siwalankerto 121-131 Surabaya 60236

Abstrak—Salah satu jenis kegiatan terstruktur yang dapat dilakukan oleh perusahaan penyedia energi listrik untuk tujuan penghematan penggunaan listrik di sisi konsumen rumah tangga adalah *Lighting-Demand Side Management*. Agar kegiatan ini dapat berlangsung secara efektif, perlu dilakukan perencanaan aspek teknis dan ekonomis yang baik. Di sisi lain, konsumen mempunyai preferensi tentang pola penggunaan lampu di rumah. Penentuan pola pembebanan merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan aktifitas DSM. Makalah ini membahas penentuan pola pembebanan lampu di sektor rumah tangga berdasarkan preferensi konsumen untuk tujuan penghematan energi listrik menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process*. Berdasarkan hasil analisa *sample* kuesioner untuk wilayah kota Surabaya Selatan, didapatkan pola pembebanan lampu yang diinginkan konsumen rumah tangga adalah *energy efficiency*, diikuti oleh *peak clipping*.

Kata kunci—*Lighting-Demand Side Management, Analytic Hierarchy Process, pola pembebanan, rumah tangga*

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan energi listrik di sisi konsumen telah menjadi bagian penting dalam tahapan pengelolaan energi secara keseluruhan. Di beberapa negara, aktifitas *Demand Side Management* (DSM) telah menjadi salah satu alternatif utama yang telah berhasil dilaksanakan secara terstruktur dan berkelanjutan karena secara keseluruhan biaya aktifitas ini lebih murah dan ramah lingkungan [1]. Penerapan aktifitas DSM secara efektif memerlukan kajian yang komprehensif yaitu rancangan metode yang memperhatikan aspek teknis, ekonomis, dan dampak lingkungan secara bersama-sama. Besarnya anggaran yang dibutuhkan untuk dapat menjalankan kegiatan DSM secara efektif dan efisien akan sangat dipengaruhi oleh hasil kajian aspek teknis dan ekonomis yang dilakukan secara tepat pula. Perencanaan pola beban dan total daya listrik yang dapat dihemat termasuk dalam aspek kajian ini. Disamping itu, pola beban yang diinginkan juga dapat didapatkan dari preferensi berbagai pemangku kepentingan, diantaranya konsumen pengguna listrik.

Pada makalah ini dibahas perencanaan aktifitas *Lighting-DSM* di sektor rumah tangga menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* untuk membentuk sebuah model pengambilan keputusan penentuan pola pembebanan lampu yang diinginkan konsumen. Makalah ini disusun sebagai berikut: penjelasan mengenai metodologi penelitian yang meliputi deskripsi konsep dan pembentukan model dijelaskan pada bagian berikut. Selanjutnya, disajikan pemaparan hasil analisa dan diskusi. Makalah ini diakhiri dengan bagian kesimpulan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini, dipaparkan pembahasan singkat mengenai konsep dan implementasi *Lighting-Demand Side Management* dan *Analytic Hierarchy Process*. Selanjutnya, pembentukan model pada studi penentuan pola pembebanan lampu menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* juga dijelaskan pada bagian ini.

Lighting-Demand Side Management

Konsep Demand Side Management (DSM) dikemukakan pertama kali oleh Clark W. Gellings dan John H. Chamberlin [2]. DSM meliputi kegiatan sistematis yang dilakukan oleh perusahaan listrik atau pemerintah yang dirancang untuk mengubah jumlah dan / atau waktu penggunaan listrik di sisi pelanggan termasuk di dalamnya penggunaan peralatan hemat energi [3]. Ada enam tujuan aktifitas DSM terkait dengan pembebanan listrik seperti diilustrasikan pada Gambar 1.

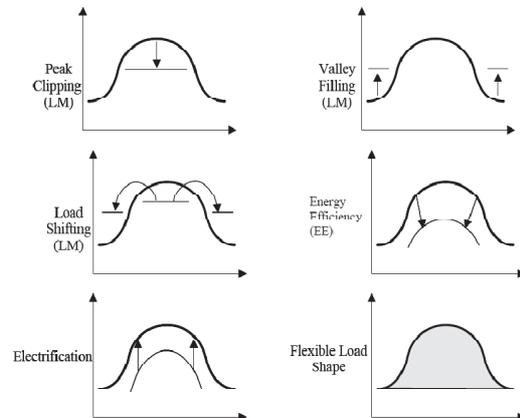


Fig. 1. Alternatif pembebanan pada aktifitas DSM [3].

Pada Gambar 1, *peak clipping*, *valley filling*, dan *load shifting* diklasifikasikan sebagai tujuan manajemen beban. Sementara itu, *energy efficiency* meliputi pengurangan atas semua penggunaan energi. Misalnya, tingkat pencahayaan di ruangan yang dipertahankan dengan cara mengganti lampu dengan lumen sama namun lebih rendah konsumsi dayanya. *Electrification* meliputi pembentukan 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 [3].

Sektor rumah tangga merupakan salah satu pelanggan listrik yang 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 [4]. Penggunaan lampu hemat energi di rumah tangga merupakan salah satu pilihan aktifitas DSM yang populer karena dapat berdiri sendiri dan merupakan komponen pemanfaat energi akhir sehingga jenis aktifitas ini cenderung relatif sederhana untuk dirancang dan diterapkan dengan biaya yang relatif murah.

Thailand menjadi negara Asia pertama yang secara formal mengadopsi aktifitas DSM sebagai masterplan nasional. Aktifitas DSM melalui pemasangan *Compact Fluorescent Lamp* (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 anggaran 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 [5].

Analytic Hierarchy Process

Analytic Hierarchy Process (AHP) merupakan metode analisa pengambilan keputusan berdasarkan prinsip matematika yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty [6]. Hingga saat ini, metode ini telah banyak digunakan untuk memecahkan permasalahan yang terkait dengan alternatif pengambilan keputusan, termasuk antara lain alokasi sumber daya, analisa keputusan, cost-benefit analysis, penentuan peringkat beberapa alternatif keputusan, proyeksi atau perencanaan, serta permasalahan lainnya. Di bidang teknik ketenagalistrikan, beberapa penelitian menggunakan metode AHP terdapat pada [7]. Prosedur AHP terdiri dari empat tahapan utama, yaitu:

1) *Dekomposisi*: Pada tahapan ini, disusun sebuah model hirarki yang secara sederhana terdiri dari tiga tingkat hirarki, yaitu tujuan, kriteria, dan alternatif. Level alternatif dapat dibagi lebih lanjut menjadi tingkatan yang lebih detail, mencakup beberapa kriteria lainnya. Istilah lain dari alternatif adalah strategi.

2) *Perbandingan penilaian (comparative judgements)*: Pada bagian ini, semua elemen yang terdiri dari strategi dan kriteria diperbandingkan satu dengan lainnya, dengan tujuan menghasilkan skala kepentingan relatif dari tiap elemen. Penilaian yang dihasilkan merupakan skala penilaian numerik. Penilaian ini akan berpengaruh terhadap urutan prioritas dari elemen-elemennya. Hasil dari penilaian ini lebih mudah disajikan dalam bentuk *pairwise comparisons matrix*, atau matriks perbandingan berpasangan yang memuat tingkat preferensi beberapa alternatif untuk tiap kriteria. Misalkan terdapat kriteria *C* dan sejumlah *n* alternatif dibawahnya, *A₁* sampai *A_n*. Perbandingan antar alternatif dapat dibuat dalam bentuk matriks *n x n*. Nilai perbandingan pada seluruh elemen menggunakan 9 skala angka, yang masing-masing

diindikasikan dengan tingkat kepentingan relatif yang berbeda. Skala perbandingan berpasangan dan indikasi tingkat kepentingan pada metode AHP dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
SKALA PENILAIAN PERPANDINGAN BERPASANGAN

Skala	Definisi	Penjelasan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen sama pentingnya, dua elemen mempunyai pengaruh sama besar
3	Agak lebih penting yang satu atas lainnya	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya, pengalaman dan penilaian sedikit menyokong satu elemen dibandingkan elemen yang lainnya
5	Cukup penting	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya, pengalaman dan penilaian sangat kuat menyokong satu elemen dibandingkan elemen yang lainnya
7	Sangat penting	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya, satu elemen yang kuat disokong dan dominan terlihat dalam praktek
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya, bukti yang mendukung elemen yang satu terhadap elemen lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menguatkan
2, 4, 6, 8	Nilai tengah diantara dua nilai keputusan yang berdekatan	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan, nilai ini diberikan bila ada dua kompromi diantara 2 pilihan
Resiprokal dari skala diatas	Jika untuk aktifitas <i>i</i> mendapat satu angka dibanding dengan aktifitas <i>j</i> , maka <i>j</i> mempunyai nilai kebalikannya dibandingkan dengan <i>i</i> .	

3) *Sintesa prioritas*: Pada tahapan ini, sintesa prioritas dilakukan dengan menggunakan metode *eigen vector*, yaitu untuk mendapatkan bobot relatif bagi unsur-unsur pengambilan keputusan.

4) *Logical consistency*: Pengukuran konsistensi didasarkan pada *maximum eigen value* dari matriks perbandingan berpasangan berorde-*n* (λ_{max}). Dengan demikian, *Consistency Index* (CI) didapatkan dari [8]:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (1)$$

Apabila CI bernilai nol, maka matriks perbandingan berpasangan tersebut dinyatakan konsisten. Batas ketidakkonsistenan ditentukan dengan menggunakan *Consistency Ratio* (CR), yaitu perbandingan *Consistency Index* dengan nilai *Random Indeks* (RI). *Consistency Ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Bila nilai CR yang didapatkan lebih kecil dari 0,10 maka ketidakkonsistenan pendapat dari pengambil keputusan masih dapat diterima. Sebaliknya, hasil yang didapat dikategorikan tidak konsisten sehingga penilaian tersebut tidak dapat dipakai membentuk model, atau penilaian perlu diulang.

Pembentukan Model

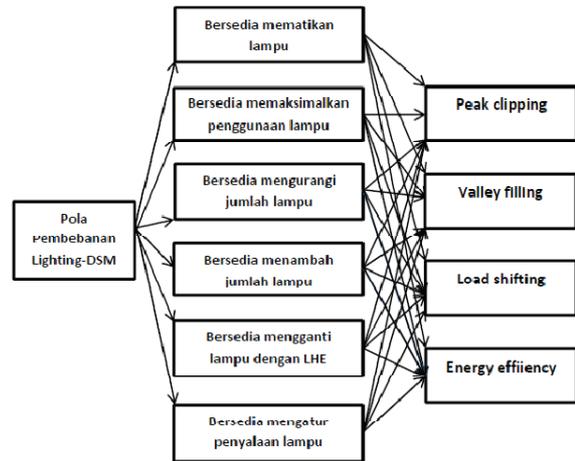
Pada penelitian ini, penyusunan model pengambilan keputusan dilakukan dengan memasukkan beberapa kriteria dan strategi. Bentuk struktur dekomposisi hirarki yang digunakan adalah 3 hirarki, yang terdiri dari:

1) *Hirarki tingkat pertama (Tujuan)*: Penentuan pola pembebanan berdasarkan alternatif skema pembebanan DSM yang diinginkan pada aktifitas *Lighting-DSM*.

2) *Hirarki tingkat kedua (Kriteria)*: Bersedia mematikan lampu; Bersedia mengatur penyalan lampu; Bersedia mengganti lampu dengan lampu hemat energi (LHE); Bersedia memaksimalkan penggunaan lampu; Bersedia menambah jumlah lampu; Bersedia mengurangi jumlah lampu.

3) *Hirarki tingkat ketiga (Strategi)*: *Peak clipping*; *Valley filling*; *Load shifting*; *Energy efficiency*.

Pengambilan data untuk perencanaan aktifitas *Lighting-DSM*, termasuk didalamnya penentuan pola pembebanan berbasis AHP, dilakukan melalui penyebaran kuesioner sebanyak 384 set yang diedarkan secara acak untuk menjangkau syarat minimum kecukupan *sample* bagi sekitar 740.000 rumah tangga pelanggan PLN di kota Surabaya [9]. Selama penyebaran yang dilakukan pada bulan Juni - Juli 2012, telah diedarkan dan diperoleh kembali sebanyak 240 set kuesioner, atau 62,5%. Sisanya akan diselesaikan penyebarannya pada bulan Agustus - September 2012, sementara proses analisa data secara umum telah dapat dimulai pada bulan Juli 2012. Dari total 240 set kuesioner, sebanyak 50 set diantaranya didapatkan responden di wilayah Surabaya Selatan. Pada makalah ini, akan ditampilkan hasil analisa dari 50 set kuesioner tersebut. Untuk membantu responden memahami pengertian strategi yang diusulkan, pada form kuesioner diberikan penjelasan strategi sebagai berikut: *Peak clipping* dapat dicapai dengan mematikan beberapa lampu pada saat waktu beban puncak. *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-lampu tersebut diluar waktu beban puncak. *Energy efficiency* dapat dicapai dengan mematikan beberapa lampu sepanjang hari atau mengganti lampu dengan jenis lampu hemat energi. Secara keseluruhan, struktur hirarki yang diusulkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



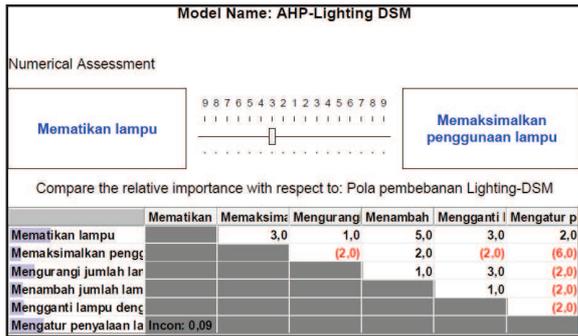
Gambar. 2. Hirarki pengambilan keputusan yang diusulkan pada penentuan pola pembebanan *Lighting-DSM*.

Selanjutnya, responden diminta untuk memberikan penilaian pada skala angka 1 sampai dengan 9 untuk setiap perbandingan berpasangan dari kriteria-kriteria yang diberikan. Dalam hal ini, terdapat 15 perbandingan berpasangan yang harus diberi pembobotan diantara kedua kriteria dengan skala angka 1 sampai dengan 9, terhadap salah satu kriteria.

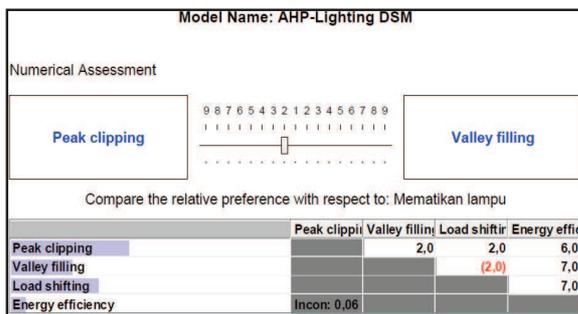
Sementara itu, untuk setiap kriteria, setiap strategi dibuat perbandingan berpasangan satu dengan yang lain dan dipilih skala angkanya. Misalkan, untuk kriteria “Bersedia mematikan lampu”, strategi “Peak clipping” akan dibandingkan dengan “Valley filling” dan seterusnya dengan cara yang sama seperti perbandingan kriteria, sehingga secara keseluruhan terdapat 6 perbandingan berpasangan untuk masing-masing kriteria. Di sisi lain, matriks perbandingan berpasangan yang terbentuk akan berorde-4 karena terdiri dari 4 strategi. Dengan demikian, nilai RI yang digunakan adalah 0,90 [8].

III. HASIL ANALISA DAN DISKUSI

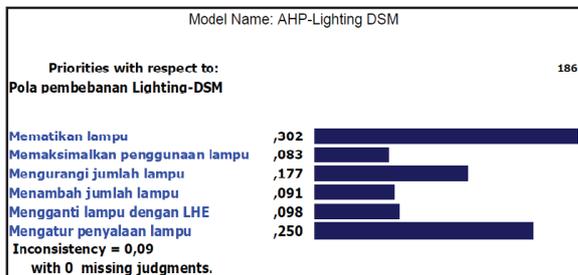
Pemodelan pengambilan keputusan dalam hirarki menurut metode AHP berupa kuesioner yang telah diedarkan dianalisa menggunakan *software expertchoice*® 11.5. Data hasil kuesioner dari setiap responden diinputkan ke *software* ini dalam dua tahapan, dimulai dengan *comparative judgement* tingkat kepentingan relatif antar kriteria terhadap tujuan pemodelan, yaitu penentuan pola pembebanan *Lighting-DSM*. Selanjutnya, untuk tiap kriteria, dilakukan perbandingan tingkat kepentingan relatif antar strategi yang diusulkan. Contoh tampilan penilaian yang diberikan oleh salah satu responden, yaitu responden No. 186, untuk kedua tahapan terdapat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pada Gambar 4, ditampilkan *comparative judgement* antar strategi terhadap kriteria “Bersedia mematikan lampu”. Sementara itu, tampilan hasil yang didapat, yaitu berupa urutan kriteria dan strategi yang dipilih masing-masing terdapat pada Gambar 5 dan 6.



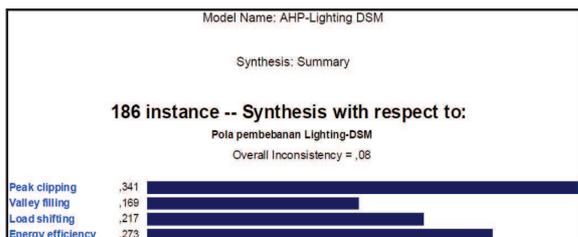
Gambar 3. Comparative judgement antar kriteria terhadap tujuan pemodelan untuk responden No. 186.



Gambar 4. Comparative judgement antar strategi terhadap kriteria "Bersedia mematikan lampu" untuk responden No. 186.



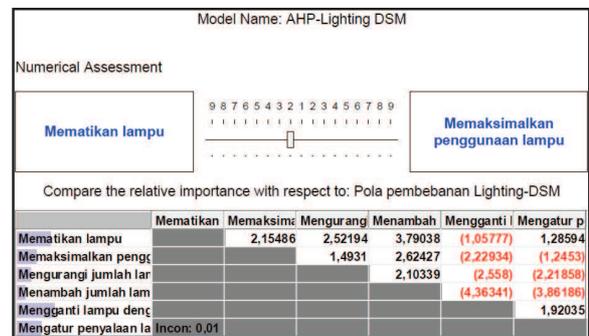
Gambar 5. Prioritas kriteria dan nilai bobotnya terhadap tujuan pemodelan untuk responden No. 186.



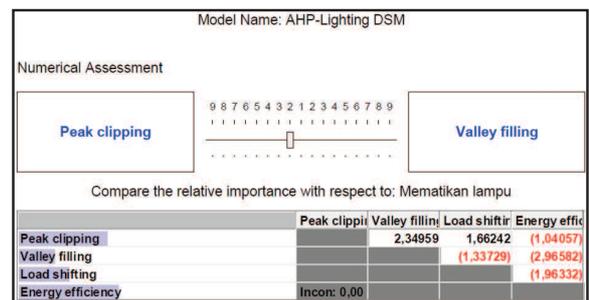
Gambar 6. Urutanstrategi pola pembebanan beserta nilai bobotnya untuk responden No. 186.

Seperti terlihat pada Gambar 6, strategi pembebanan yang menjadi preferensi responden No. 186 adalah peak clipping. Hal ini bersesuaian/konsisten dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5, dimana kriteria "Bersedia mematikan lampu" menjadi prioritas di urutan pertama.

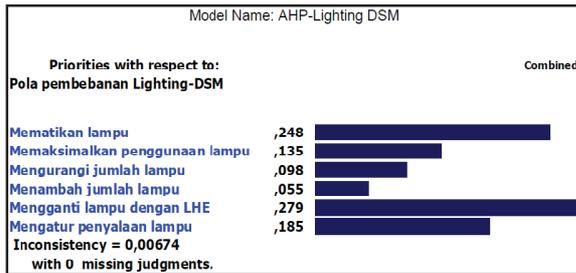
Setelah seluruh penilaian pada sample kuesioner diinputkan, assessment dilanjutkan untuk mengetahui urutan strategi dan kriteria yang menjadi preferensi seluruh partisipan secara agregat. Skala angka hasil penggabungan yang dilakukan oleh software untuk comparative judgement antar strategi terhadap tujuan pemodelan dan hasil penilaian untuk perbandingan antar alternatif strategi terhadap kriteria "Bersedia mematikan lampu" masing-masing disajikan pada Gambar 7 dan 8.



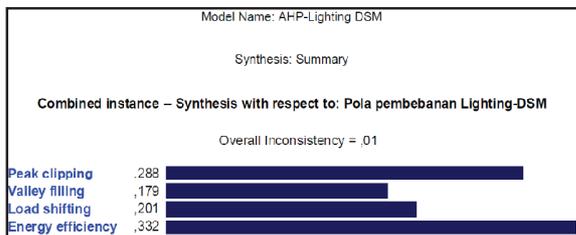
Gambar 7. Hasil comparative judgement antar kriteria terhadap tujuan pemodelan untuk semua responden.



Gambar 8. Hasil comparative judgement antar strategi terhadap kriteria "Bersedia mematikan lampu" untuk semua responden.



Gambar. 9. Kombinasi dari prioritas kriteria dan nilai bobotnya terhadap tujuan pemodelan untuk semua responden.



Gambar. 10. Kombinasi dari urutanstrategi pola pembebanan beserta nilai bobotnya untuk semua responden.

Untuk keseluruhan *sample*, dari Gambar 10 terlihat bahwa strategi *energy efficiency* menempati urutan pertama dari alternatif strategi yang diusulkan. Temuan ini konsisten dengan urutan preferensi kriteria, yaitu “Bersedia mengganti lampu dengan LHE” seperti yang terdapat pada Gambar 9. Sementara itu strategi *peak clipping* menempati urutan preferensi kedua, bersesuaian dengan kriteria “Bersedia mematikan lampu”.

IV. DISKUSI

Dari hasil analisa, didapatkan bahwa strategi *energy efficiency* secara agregat menjadi strategi yang paling banyak dipilih oleh responden. Dengan memperhatikan pengaruh penilaian terhadap kriteria yang ada, pembentukan strategi *energy efficiency* tidak hanya dipengaruhi oleh pemilihan kriteria “Bersedia mengganti lampu dengan LHE” saja, namun juga disebabkan oleh penilaian kriteria yang lain, misalnya “Bersedia mematikan lampu” dan “Bersedia mengatur penyalaaan lampu”, atau secara keseluruhan dapat dipengaruhi oleh tiga kriteria. Sebagai contoh, dalam menentukan preferensi berdasarkan pilihan kriteria yang ada, responden sangat mungkin berpendapat bahwa mereka mengharapkan terwujudnya tujuan efisiensi energi dalam aktifitas *Lighting-DSM*. Berdasarkan penjelasan yang diberikan berkaitan dengan definisi strategi *energy efficiency*, responden dapat mengasosiasikan strategi ini dengan ketiga kriteria diatas

Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia (FORTEI) 2012
<http://fortei2012.ui.ac.id>

dan menghasilkan penilaian yang bersesuaian.

V. KESIMPULAN

Makalah ini memaparkan penentuan pola pembebanan *Lighting-DSM* pada sektor rumah tangga menggunakan metode AHP. Hasil analisa yang didapat merupakan bagian analisa preferensi dari penelitian pembentukan kerangka perencanaan aktifitas *Lighting-DSM* di sektor rumah tangga yang melibatkan aspek teknis, ekonomis, lingkungan dan preferensi. Dari hasil analisa, metode AHP terbukti dapat digunakan untuk menentukan pola pembebanan lampu yang diinginkan konsumen rumah tangga baik secara individual maupun secara kolektif.

Kriteria maupun strategi pembebanan yang terpilih lebih lanjut dapat diintegrasikan dengan analisa aspek teknis dan ekonomis untuk mendapatkan potensi penghematan energi pada aktifitas *Lighting-DSM*, khususnya terkait dengan pola pembebanan yang ada dan profil jenis lampu yang terpasang serta aspek ekonomis, terkait dengan konsekuensi pembiayaan aktifitas ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih atas hibah dana melalui skema Penelitian Hibah Bersaing DIKTI sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Hibah Program Penelitian Multi Tahun dan Desentralisasi Tahun Anggaran 2012 No. 0004/SP2H/PP/K7/2012 dan nomor kontrak 07/SP2H/PP/LPPM-UKP/II/2012.

REFERENSI

- [1] M. Yang. (2006). “Demand Side Management in Nepal”. *Energy* vol. 31, pp. 2677–2698, November 2006.
- [2] C. W. Gellings, J. H. Chamberlin. (1987). *Demand Side Management: Concepts and Methods*. 2nd ed. Lilburn, GA, USA: The Fairmont Press Inc.
- [3] Charles River Associates. (2005). *Primer on Demand Side Management*. Available: <http://siteresources.worldbank.org/INTENERGY/Resources/PrimeronDemand-SideManagement.pdf>
- [4] L. Schipper, S. Meyers. (1991). “Improving Appliance Efficiency in Indonesia”, *Energy Policy*, July/August 1991, pp. 578-587.
- [5] Electricity Generation Authority Thailand (1997). *Compact Fluorescent Lamp Program — Program Plan Evaluation Plan*, Demand-Side Management Office, Planning and Evaluation Department. Bangkok, Thailand.
- [6] T. L. Saaty. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, 1st ed. NY, USA: McGraw-Hill.
- [7] D. K. Lee, S. Y. Park, S. U. Park. (2007). “Development of assessment model for demand-side management investment programs in Korea”. *Energy Policy* vol. 35, pp. 5585–5590, July 2007.
- [8] S. Vashishtha, M. Ramachandran. (2005). “Multicriteria evaluation of Demand Side Management (DSM) implementation strategies in the Indian power sector”. *Energy* vol. 31, pp. 2210–2225, July 2003.
- [9] P. Newbold. (2007). *Statistics for Business and Economics*, 6th ed, New Jersey, USA: Pearson Education, Inc.