

STUDI KASUS ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PENERAPAN PENERANGAN JALAN UMUM BERTENAGA SEL SURYA

Ika Shinta Mardikaningsih¹, Wahyudi Sutopo², Rina Wiji Astuti³

¹Asisten Laboratorium Sistem Logistik dan Bisnis, Program Studi Teknik Industri,
Universitas Sebelas Maret

²Laboratorium Sistem Logistik dan Bisnis, Program Studi Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret

³Tenant Pusat Inovasi Teknologi, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126

Telp. 0271-6322110

Email: ¹ikashinta2012@gmail.com, ²wahyudisutopo@gmail.com, ³rinawijia@gmail.com

ABSTRAK

Listrik merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan oleh manusia saat ini, permintaan yang tinggi tentunya akan berakibat terhadap krisis listrik. Salah satu penggunaan listrik adalah untuk Penerangan Jalan Umum (PJU), Kota Surakarta saat ini masih menggunakan PJU bertenaga listrik, tentunya hal tersebut turut menambah permintaan listrik yang akan berimbas terhadap krisis listrik. Tidak hanya itu pemakaian listrik PJU yang tinggi turut pula mempengaruhi besarnya tagihan listrik di Kota Surakarta. Salah satu alternatif yang dapat ditawarkan adalah penerapan PJU bertenaga surya (PJUTS), PJUTS ini menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya dan baterai lithium sebagai sumber penyimpanan energi, tidak hanya itu beban yang digunakan adalah Lampu LED yang dikenal ramah lingkungan. Dengan menggunakan PJUTS ini tentunya hemat dan ramah lingkungan. Namun sebelum penerapan PJUTS dilakukan dibutuhkan suatu analisis baik teknis dan ekonomis untuk menilai apakah investasi tersebut layak atau tidak. Berdasarkan analisis teknis, PJUTS tersebut layak karena umur pakai yang tinggi, tidak menggunakan tenaga listrik, hemat, dan ramah lingkungan. Sedangkan analisis ekonomis melihat perbandingan biaya PJU konvensional dengan PJUTS dengan proyeksi 25 tahun, serta melakukan analisis Net Present Value (NPV) dan B/C Ratio. Dan diketahui berdasarkan analisis ekonomis PJUTS tersebut layak untuk diaplikasikan.

Kata kunci: Baterai lithium, B/C Ratio, Lampu LED, Net Present Value (NPV), PJUTS,

PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan sumber energi yang penting bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan sehari-hari, penerangan maupun kegiatan dengan skala besar seperti kegiatan industri untuk proses produksi dan perkantoran. Semakin tingginya kebutuhan tenaga listrik berbanding terbalik dengan pertumbuhan pasokan energi listrik di Indonesia. Seperti diketahui pasokan cadangan listrik di Jawa rata-rata hanya 25-30 %, di Sumatera 10 %, dan untuk Indonesia Timur kurang dari 10% (Tempo, 2014). Salah satu daerah yang mengalami krisis listrik adalah Kota Surakarta. Kota dengan jumlah penduduk 503.421 jiwa (2010) dan terletak di Provinsi Jawa Tengah ini memiliki jumlah pelanggan listrik sebesar 1.158.832 pelanggan yang terdiri dari 936.593 pelanggan regular dan 222.249 pelanggan listrik prabayar (PLN Area Surakarta, 2014). Melonjaknya permintaan ini harus pula diantisipasi dengan penggunaan listrik yang efisien dan efektif. Salah satu penggunaan energi listrik adalah penerangan jalan umum. Surakarta selain terancam mengalami krisis listrik akibat melonjaknya permintaan tanpa diimbangi ketersediaan persediaan, juga mengalami permasalahan terkait penerangan jalan umum (PJU). Diketahui bahwa sempat terjadi pemadaman listrik pada PJU disekeliling titik di Surakarta, hal tersebut berkaitan dengan besarnya biaya yang harus dikeluarkan oleh pemerintah untuk membayar biaya PJU. Pemadaman listrik pada PJU tentunya berdampak buruk pada aktivitas penduduk pada malam hari karena dapat mengganggu keselamatan penggunaan jalan pada malam hari. Kota Surakarta sendiri memiliki 16.169 titik PJU yang tersebar di seluruh wilayah Surakarta, dan sampai saat ini PJU yang ada masih menggunakan tenaga listrik sebagai sumber utama penerangan lampu jalan tersebut.

Mengingat begitu besar manfaat dan pentingnya energi listrik terutama bagi PJU, sedangkan sumber pembangkit listrik yang berasal dari sumber daya alam tak terbaharui terbatas jumlahnya, perlu dilakukan berbagai upaya untuk mengatasi hal tersebut. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan adalah mengganti PJU yang mulanya menggunakan energi listrik dengan energi matahari sebagai sumber energi untuk penerangan. Energi matahari sendiri sudah banyak diaplikasikan di berbagai belahan dunia, dan jika dieksploitasi secara tepat energi matahari ini berpotensi dapat digunakan dalam waktu yang lebih lama. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi cukup besar yaitu

mencapai 3×10^{24} joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini (Astuti, 2012). Sebagai negara yang berada di bawah garis katulistiwa, Indonesia memiliki potensi besar terhadap sumber energi matahari yaitu dengan 4.8 KWh/m^2 atau setara dengan 112.000 GWp energi surya (ESDM,2012). Tentunya dengan potensi yang dimiliki Indonesia mampu memanfaatkan sumber daya yang melimpah dengan sebaik-baiknya.

Penerapan PJU bertenaga surya diharapkan dapat menjadi solusi dari permasalahan di atas, karena PJU sendiri memiliki peranan penting dalam mendukung aktivitas manusia. PJUTS memanfaatkan baterai lithium yang sedang dikembangkan Universitas Sebelas Maret, karena PJU tenaga surya menggunakan baterai lithium sebagai penyimpan energi yang berasal dari matahari. Pentingnya penelitian ini tidak hanya untuk melakukan analisis terkait investasi penerapan PJUTS sebagai alternatif penghemat energi listrik di Kota Surakarta, juga sebagai pendukung penelitian baterai lithium yang ada di Universitas Sebelas Maret. Selain sebagai bentuk strategi pendukung, pengembangan baterai lithium ini juga dimaksudkan untuk meningkatkan *global competitive* di Indonesia (Laraswati dkk, 2014). Rencana tersebut dituangkan dalam perencanaan penciptaan mini plant manufaktur dari baterai lithium-ion yang akan dilaksanakan oleh Tim Pengembangan Mobil Listrik Universitas Sebelas Maret (Sutopo dkk, 2013).

Salah satu tahapan terpenting untuk mengetahui sejauh mana kelayakan ekonomis dari setiap rencana usaha adalah dengan melakukan perbandingan investasi berdasarkan beberapa kriteria investasi yang telah dikembangkan oleh banyak ahli manajemen (Irawan, 2013). Untuk meninjau apakah investasi ini layak digunakan maka diperlukan suatu analisis terkait kelayakan investasi baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

KAJIAN LITERATUR

Lampu penerangan jalan merupakan (a) bagian dari bangunan pelengkap jalan yang dapat diletakkan atau dipasang di kiri atau kanan jalan dan atau di tengah (di bagian median jalan) yang digunakan untuk menerangi jalan maupun lingkungan di sekitar jalan yang diperlukan termasuk persimpangan jalan, jalan layang, jembatan dan jalan di bawah tanah; (b) suatu unit lengkap yang terdiri dari sumber cahaya, elemen optik, elemen elektrik dan struktur penopang serta pondasi tiang lampu (Kusumayogo,2014). Sedangkan lampu Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) adalah lampu penerangan jalan yang menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi listriknya (Sihombing, 2013). PJUTS sendiri terdiri dari beberapa komponen yaitu panel sel surya, lampu LED, tiang PJU, dan box baterai PJU.

Panel Sel Surya

Paramater paling penting dalam kinerja sebuah panel surya adalah intensitas radiasi matahari atau biasa disebut dengan iradiansi cahaya matahari, yaitu jumlah daya matahari yang datang kepada permukaan per luas area (Astuti, 2012). Besar dari nilai iradiansi matahari dapat digunakan untuk menentukan besar daya yang dapat dihasilkan oleh panel sel surya. Panel sel surya terdiri dari silikon, yang berfungsi mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Sel silikon di dalam panel sel surya yang disinari matahari membuat photon bergerak menuju elektron dan menghasilkan arus serta tegangan listrik. Arus listrik yang dihasilkan adalah listrik dengan arus searah atau DC (Sihombing, 2013).

Box baterai PJU

Dalam satu paket box baterai PJU terdapat beberapa komponen yang memiliki fungsi masing-masing, yaitu terdapat baterai, *controller*, blok terminal, dan *battery management system* (Hermanto,2014). Untuk PJUTS ini menggunakan baterai lithium sebagai media penyimpanan energi. Baterai jenis ini dipilih karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan baterai jenis lainnya, lithium tidak memiliki *memory effect* artinya baterai dapat dilakukan isi ulang tanpa harus mengosongkan secara total sebelum *discharge*. Baterai ini dua kali lebih tahan lama umur pakainya dibandingkan dengan baterai biasa, untuk baterai lithium khusus PJU diperkirakan memiliki *life time* selama 5 tahun. Baterai ini mampu menyimpan dalam kapasitas yang cukup besar. Komponen lainnya adalah *solar charge controller* (SCC) yang berfungsi sebagai control waktu dan control penyimpanan pada PJUTS serta mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Selain baterai dan SCC terdapat pula BMS (*Battery Management System*) yang berfungsi untuk *cut off* apabila baterai sudah terisi penuh, dan juga terdapat *discharge* yang berfungsi untuk mengatur daya output yang diperlukan untuk dipakai. BMS ini mengelola *charge* baterai serta memonitor keadaan baterai, dan menjaga keseimbangan baterai (Sulistiono, 2010). Blok terminal pada box berfungsi sebagai pembagi arus menjadi beberapa jalur, hal tersebut dibutuhkan bila terjadi kerusakan tidak terjadi kesulitan saat proses perbaikan dan meminimumkan terjadinya bunga api karena banyaknya jalur yang terpakai.

Net Present Value

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskonto (*discount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan (Wiguna, 2012). Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :

- a. Investasi dinilai layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai positif (>0).
- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai negatif (<0).

Benefit Cost Ratio

Kriteria yang digunakan dalam alat analisis ini adalah apabila rasio $B/C > 1$ akan berimplikasi proyek tersebut layak di pilih. Sebaliknya, apabila rasio kotor $B/C < 1$, maka proyek tersebut tidak layak dipilih dan dijalankan (Wiguna,2012).

METODA

Pada studi kasus penerapan PJUTS di Kota Surakarta ini, dilakukan analisis teknis maupun ekonomis terkait kelayakan investasi yang akan dilakukan. Untuk melakukan analisis teknis dilakukan analisis terhadap spesifikasi material yang digunakan pada PJUTS. Sedangkan untuk mengukur apakah investasi tersebut layak berdasarkan sisi ekonominya, maka dilakukan perhitungan perbandingan biaya antara PJU konvensional dan PJUTS, sehingga diketahui apakah terjadi penghematan atau tidak. Selain itu kelayakan investasi PJUTS dilakukan perhitungan dengan metode NPV dan B/C Ratio.

Data-Data yang Dibutuhkan

Data yang diperlukan dalam melakukan analisis teknik dan ekonomis dalam penyusunan artikel ini adalah data sekunder, yaitu data yang sudah tersedia. Data yang diperoleh adalah data dari PJU konvensional dan membandingkan dengan data PJUTS ..

Perhitungan dan Analisis Data

1. Perhitungan dan analisis teknis meliputi spesifikasi, *life time* dari komponen PJUTS dengan membandingkan dengan PJU konvensional
2. Perhitungan dan analisis ekonomis meliputi biaya instalasi dan biaya perawatan, biaya operasional dari PJUTS dengan membandingkan dengan PJU konvensional.

HASIL DAN ANALISIS

Penerapan PJUTS ini direncanakan akan dibangun di Kota Surakarta, terkait hal tersebut tentunya diperlukan suatu analisis baik teknis maupun ekonomis. Sebelum melakukan analisis tersebut tentunya harus melakukan perancangan pembangunan PJUTS, berapa jumlah titik yang akan dibangun untuk menggantikan PJU Konvensional. Berdasarkan data yang diperoleh diketahui jumlah PJU di Kota Surakarta adalah 16.169 titik lampu yang tersebar diseluruh wilayah Kota Surakarta. Apabila diasumsikan pergantian PJU akan dilaksanakan selama 25 tahun maka setiap tahunnya direncanakan pergantian 645titik lampu. Berdasarkan hasil di atas pergantian 645 titik PJU per tahun dianggap tidak layak, karena jika disesuaikan dengan kemampuan *supplier* PJU, tidak mungkin dilakukan pembangunan tersebut sejumlah 645 titik PJU. Selain itu terdapat faktor birokrasi karena pembangunan tersebut terkait dengan kebijakan pemerintah. Pemerintah memiliki dua instrument kebijakan yaitu persetujuan proyek dan transfer (Erliza dkk, 2014) Selain itu tentunya faktor ekonomi, jika setiap tahunnya akan dibangun 645 titik PJU selama 25 tahun, diperkirakan biaya investasi per tahunnya sebesar Rp 11.731.146.980,- besarnya nominal investasi tentunya mempengaruhi iklim investasi tersebut. Berdasarkan hasil di atas dilakukan asumsi rancangan yang dapat disesuaikan dengan berbagai faktor terkait, seperti kemampuan *supplier*, kemampuan dana yang akan dikeluarkan, kebijakan pemerintah, dan berbagai pertimbangan lainnya. Maka pada studi kasus penerapan PJUTS diasumsikan akan dibangun sekitar 50 titik PJU di Kota Surakarta. Setelah menentukan banyaknya jumlah PJU yang akan dibangun maka dilakukan analisis teknis maupun ekonomis terhadap rencana pembanguna PJUTS di Kota Surakarta.

Perhitungan dan Analisis Teknis

Dalam melakukan penerapan PJUTS tentunya diperlukan suatu rancangan teknis. Rancangan teknis dimaksud untuk mengetahui spesifikasi produk yang telah disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan. Dengan mengetahui spesifikasi yang diperlukan maka akan mudah dalam menentukan material atau komponen apa saja yang dibutuhkan dalam penerapan PJUTS. PJUTS sendiri terdiri dari beberapa komponen yaitu panel sel surya, lampu LED, tiang PJU, dan box baterai PJU. Dalam merancang PJUTS tentunya harus dilakukan perhitungan terhadap kebutuhan penerangan di jalan yang akan dipasang PJUTS. Setelah mengetahui kebutuhan yang diperlukan pada setiap lampu tersebut akan disesuaikan dengan spesifikasi komponen atau material pembangunnya. Dan yang akan dipilih Paket

PJUTS 40 watt, dimana terdiri dari panel sel surya 145 wp, SSC 10A 12V, baterai lithium 60 Ah 12V, lampu LED 40W.

PJUTS menggunakan panel sel surya untuk menangkap cahaya matahari, kemudian energi dari cahaya matahari tersebut disimpan di dalam baterai. Panel sel surya dapat menangkap energi yang berasal dari matahari kemudian mengubahnya menjadi arus DC . Pada perhitungan sudah ditentukan bahwa panel sel surya yang akan digunakan berdaya 14 wp, sedangkan untuk spesifikasi panel yang akan dipilih mempertimbangkan beberapa faktor yaitu efisiensi panel, pengaruh suhu, dan pengaruh intensitas cahaya. Panel sel surya sendiri terdapat 2 jenis yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Berdasarkan pertimbangan teknis maka dipilih panel sel surya dengan jenis *monocrystalline*, walaupun daya serapnya tidak optimal ketika cuaca mendung tetapi panel jenis *monocrystalline* mampu menyerap energi yang besar ketika keadaan cerah.

Untuk media penyimpanan energi pada PJUTS dapat menggunakan beberapa macam baterai diantaranya baterai jenis VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) dan baterai jenis lithium. Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan pemilihan jenis baterai yang dipilih adalah energi per berat yang disimpan, *life cycle* dan DoD (*Depth of Discharge*), sensitivitas suhu, dan efisiensi. Berikut disajikan perbandingan antara baterai lithium dengan baterai VRLA

Tabel 1 Perbandingan Jenis Baterai

	VRLA	Lithium
Energi	40 Wh/kg	150 Wh/kg
Life cycle	1.000 @ 50% DoD	1.900 @ 80% DoD
Temperature	Suhu Signifikan >25°C	Suhu Signifikan >45°C
	100% @ 20-hr rate	100% @ 20-hr rate
Efisiensi	80% @ 4-hr rate	99% @ 4-hr rate
	60% @ 1-hr rate	92% @ 1-hr rate

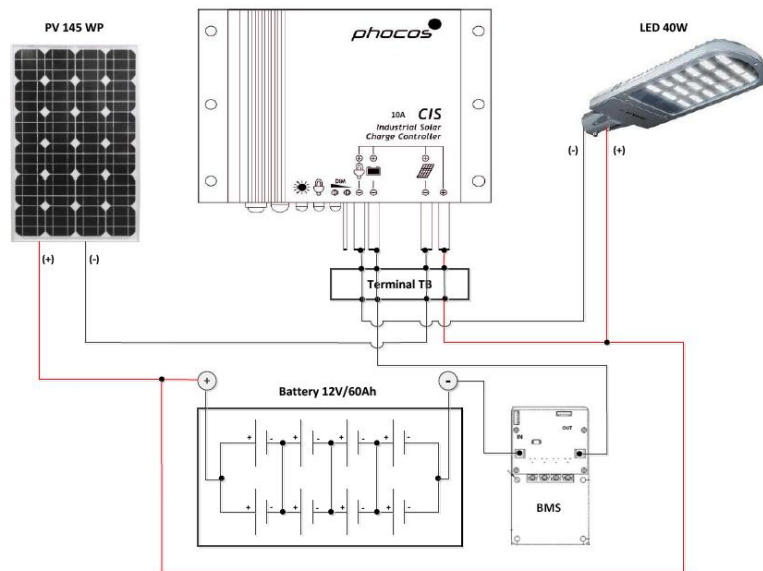
Untuk menentukan jenis baterai yang akan dipilih disesuaikan dengan kebutuhan konsumen. Pada rancangan penerapan PJUTS di Kota Surakarta ini dipilih baterai jenis lithium, karena baterai ini memiliki kelebihan dibandingkan jenis baterai lainnya. Baterai lithium dipercaya memiliki daya tahan yaitu dua kali lebih lama dibandingkan dengan baterai lainnya, selain itu baterai ini dapat melakukan pengisian tanpa perlu menunggu isi baterai tersebut benar-benar habis. Baterai lithium cukup kuat karena setiap bulannya hanya kehilangan 5% daya, berbeda dengan baterai lainnya dapat kehilangan daya sekitar 20% per bulannya. , lebih bertenaga dibandingkan dengan baterai lainnya karena dapat menampung 150watt per jam pada setiap kilogramnya, baterai ini lebih bertenaga dibanding baterai lainnya yang hanya bisa menampung 100 watt per jam pada setiap kilogramnya. Meskipun demikian baterai lithium memiliki beberapa kekurangan yaitu harganya yang cukup mahal, oleh karena itu pada tahap selanjutnya akan dilakukan analisis ekonomis terkait penggunaan baterai lithium. Kekurangan lainnya adalah lithium tidak tahan terhap suhu tinggi, oleh karena itu untuk mengatasi hal tersebut terdapat BMS yang berfungsi sebagai *balancing* dari baterai, sehingga keamanan baterai dapat terjaga.

Penerapan PJUTS menggunakan lampu LED sebagai beban atau output pencahayaan. Lampu untuk PJU yang masih banyak digunakan adalah lampu pijar, jika dibandingkan dengan lampu LED tentunya lebih banyak kelebihan yang dimiliki oleh lampu LED. Dengan menggunakan lampu LED *life cycle* dari lampu lebih lama karena rata-rata berusia 50.000 -10.000 jam. Jika diasumsikan bahwa umur pakai 50.000 jam dengan pemakaian lampu setiap harinya adalah 12 jam, maka diperkirakan usia lampu mampu bertahan hingga 11 tahun. Bandingkan dengan lampu pijar yang usia pemakaian 2.000 jam jika digunakan selama 12 jam/hari, maka usia kurang dari 1 tahun pemakaian. Selain itu dengan menggunakan lampu LED konsumsi daya lebih hemat, karena lampu LED PJU dengan daya murni 40-120 watt, bisa mengganti lampu PJU konvensional atau merkuri 150-350 watt. Keunggulan lainnya lampu LED ramah lingkungan karena tidak mengandung merkuri.

Komponen selanjutnya adalah jenis lampu yang digunakan, pada PJUTS ini menggunakan lampu LED sebagai *output* cahaya. Pemilihan lampu ini karena umur pakai yang lebih lama, ramah lingkungan, dan hemat energi. Bentuk dari tiang PJU umumnya disesuaikan dengan kondisi jalan dan kebutuhan, pada penelitian ini bentuk tiang PJU yang akan digunakan berdasarkan asumsi adalah bentuk tiang PJU lengan tunggal. Untuk spesifikasi dari tinggi tiang didasarkan oleh besar watt dari lampu, karena besarnya cahaya yang dihasilkan berpengaruh terhadap luas area yang dapat tersinari, semakin besar cahaya yang terpancar maka semakin tinggi pula tiang PJU yang disarankan. Berdasarkan rancangan yang akan dibuat diketahui penerangan yang digunakan adalah lampu LED 40 watt, sehingga berdasarkan tabel rekomendasi, ketinggian tiang listrik adalah 7-9 meter (Hexamitra, 2014).

Setelah mengetahui spesifikasi dari komponen-komponen penyusun PJUTS, langkah selanjutnya adalah mengetahui *wiring diagram* PJUTS. *Wiring diagram* ini akan menjelaskan proses kerja PJUTS dengan melihat rangkaian yang terbentuk. *Wiring diagram* PJUTS dengan menggunakan rancangan Paket

PJUTS 40 watt dapat dilihat pada gambar 1. PJUTS yang akan dibuat menggunakan panel sel surya berdaya 145 wp, kemudian lampu LED 40 watt, kapasitas baterai 12 V/60Ah, dan *controller* 10A 12V. Cara kerja dari PJUTS dapat terlihat seperti gambar di atas. Sumber energi PJUTS berasal dari cahaya matahari yang kemudian cahaya tersebut diserap oleh panel sel surya. Panel sel surya dapat mengkonversi cahaya matahari tersebut untuk menjadi arus DC yang selanjutnya disimpan di dalam baterai. Sebelum disimpan di dalam baterai terdapat alat yang bertindak sebagai pengatur lalu lintas aliran energi, alat ini mengatur sistem yang bekerja pada PJUTS yang disebut *controller*. Pada *controller* tersebut diberikan *timing* kapan lampu harus menyala dan kapan lampu harus mati, selain itu di dalamnya terdapat sistem yang mengatur kapan baterai harus dilakukan pengisian. Selanjutnya untuk mengatur sistem manajemen baterai terdapat alat yang bernama BMS yang berfungsi untuk *cut off* dan *discharge* pada baterai.



Gambar 1. Wiring Diagram Solar Street Light 12V60Ah

Kelebihan dari penggunaan dari PJUTS ini adalah tidak menggunakan sumber energi listrik yang berasal dari PLN, hanya mengandalkan energi matahari. PJUTS tidak berpengaruh apabila terjadi masalah jaringan pada PLN, artinya tidak berpengaruh jika terjadi pemadaman listrik. Karena sesuai dengan fungsinya PJUTS ini berfungsi sebagai penerangan jalan umum untuk kegiatan masyarakat. Apabila PJU tersebut mengalami gangguan tentunya akan berpengaruh terhadap keamanan dan kenyamanan masyarakat. Dengan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi tentunya PJUTS merupakan perangkat ramah lingkungan serta mendukung untuk mengurangi penggunaan energi listrik. PJUTS mendukung efisiensi energi dan hal tersebut menjadi faktor utama sehingga PJUTS ini harus berumur panjang, maka tidak memberatkan dalam biaya operasional yaitu biaya perawatan. Seperti diketahui *life time* dari panel sel surya diperkirakan 25 tahun, untuk lampu LED dengan masa pakai 50.000 jam jika setiap harinya lampu menyala selama 12 jam maka lampu dapat beroperasi selama 11 tahun, usia pakai tersebut dapat dibandingkan dengan PJU konvensional. Sejauh ini PJUTS memiliki kelebihan dibandingkan dengan PJU konvensional, namun yang menjadi pertimbangan penerapan PJUTS adalah kendala cuaca. Dikhawatirkan ketika memasuki musim hujan PJUTS tidak dapat berfungsi, hal tersebut tentunya dapat terjawab karena PJUTS memiliki otonomi baterai, selain itu selama masih ada cahaya matahari panel akan tetap menyerap energi walaupun dengan daya serap yang rendah.

Perhitungan dan Analisis Ekonomis

Setelah mengetahui hasil perhitungan dan analisis teknis penerapan PJUTS langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dan analisis ekonomis penerapan PJUTS di Surakarta. Metode yang digunakan dalam melakukan analisis ekonomis pada penerapan PJUTS ini adalah metode *cost and benefit (net present value, IRR, B/C Ratio)*. Sebelum dilakukan analisis diketahui terlebih dahulu biaya investasi yang akan dikeluarkan dalam penerapan PJUTS. Biaya investasi terdiri dari beberapa biaya seperti biaya komponen, biaya instalasi, dan biaya distribusi. Besarnya biaya investasi untuk pemasangan 1 unit PJUTS sebesar Rp 18.110.500,- sedangkan untuk pembangunan yang direncanakan adalah 50 unit PJUTS, sehingga total biaya investasi adalah Rp905.525.000,-.

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal (Athanasia, 2000). Berdasarkan acuan diatas maka pada perhitungan

analisis ekonomis penaran PJUTS ini, besar persentase biaya pemeliharaan dan operasional ditetapkan sebesar 1 %. Biaya pemeliharaan dan operasional mencakup biaya pembersihan panel sel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan. Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa Negara Indonesia mengalami dua musim saja, sehingga pembersihan panel tidak sebesar Negara yang mengalami empat musim. Berikut adalah perhitungan untuk biaya pemeliharaan dan biaya operasional (P&O).

$$\begin{aligned} \text{Biaya P\&O} &= 1\% \times \text{biaya investasi} \\ &= 0.01 \times \text{Rp } 905.525.000,- \\ &= \text{Rp } 9.055.250,- \end{aligned}$$

Tabel 2 Biaya Investasi PJUTS

No	Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
1	Lampu LED 40 Watt	1	Rp 1,450,000	Rp 1,450,000
2	Panel Sel Surya 145 wp	1	Rp 3,362,500	Rp 3,362,500
3	Harga Tiang PJU 7 meter +mur+ baut+ klem, dll	1	Rp 3,150,000	Rp 3,150,000
4	Box Battery PJU (Baterai lithium, <i>controller</i> , BMS)	1	Rp 9,000,000	Rp 9,000,000
5	Kabel Instalasi PV NHYYHY 2 x 2,5 m (hitam)	7 m	Rp 8,500	Rp 59,500
6	Kabel instalasi Lampu NHYYHY 2 x 2,1 m (hitam)	7 m	Rp 5,500	Rp 38,500
7	Biaya Instalasi		Rp 200,000	Rp 200,000
8	Biaya Pengiriman		Rp 850,000	Rp 850,000
Total				Rp 18,110,500

Selain biaya P&O terdapat pula biaya pergantian baterai dan biaya pergantian lampu LED. Untuk pergantian baterai ini didasarkan pada umur baterai tersebut, baterai yang dipakai pada penerapan PJUTS ini adalah baterai lithium yang dipercaya memiliki umur pakai dua kali lebih lama dari pada baterai biasa, selain itu baterai lithium ini minim dilakukan pencurian seperti baterai biasa. Baterai lithium diperkirakan berusia 5 tahun, sehingga akan dilakukan pergantian selama 5 tahun sekali (25/5). Proyeksi investasi ini akan dilakukan selama 25 tahun hal tersebut didasarkan terhadap umur pakai panel sel surya yang telah direkomendasikan oleh distributor. Sedangkan untuk pergantian dari lampu LED akan diganti setiap 11 tahun sekali, dengan pertimbangan umur lampu LED rata-rata sebesar 50.000 jam, jika setiap hari lampu beroperasi selama 12 jam maka lampu mampu bertahan mampu bertahan selama 11 tahun. Untuk mengetahui rincian biaya pergantian baterai dan lampu adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Biaya pergantian baterai} &= \frac{\text{harga 1 unit baterai} \times 5 \text{ tahun} \times 50 \text{ unit}}{25 \text{ tahun}} \\ &= \frac{\text{Rp } 2.000.000 \times 5 \text{ tahun} \times 50 \text{ unit}}{25 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 2.000.000,- / \text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya pergantian lampu} &= \frac{\text{harga 1 unit lampu} \times 2 \text{ tahun} \times 50 \text{ unit}}{25 \text{ tahun}} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.450.000 \times 2 \text{ tahun} \times 50 \text{ unit}}{25 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 5.800.000,- / \text{tahun} \end{aligned}$$

Sehingga biaya (P&O) setiap tahunnya adalah Rp 16.855.250,-

Langkah selanjutnya adalah menghitung besar tarif listrik PJUTS dengan terlebih dahulu mengetahui skenario IRR yang ditetapkan pada perhitungan analisis ekonomis PJUTS. Terdapat dua skenario IRR yang ingin dicapai yaitu dengan IRR sebesar 10% dan IRR sebesar 15%. Seperti diketahui PJUTS ini diperkirakan beroperasi selama 25 tahun sesuai dengan rekomendasi yang disarankan oleh distributor. Sehingga untuk menghitung produksi kWh pertahunnya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Produksi kWh} &= 40 \text{ watt} \times 50 \text{ unit} \times 50\% \times 80\% \times 8760 \text{ jam (Wh)} \\ &= 7.008.000 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

40 watt diperoleh dari besarnya beban yang digunakan, 50 % merupakan besarnya jam operasional selama 12 jam dari 24 jam, sedangkan 80 % merupakan kapasitas baterai yang dapat digunakan, dan 8760 jam adalah total jam dalam 1 tahun. Setelah mengetahui produksi kWh per tahunnya dapat dilakukan perhitungan *Net Present Value* (NPV) dan *B/C Ratio* untuk mengetahui apakah investasi ini cukup layak

untuk dilaksanakan. Berikut akan disajikan perhitungan pada skenario 1 jika IRR yang ingin dicapai adalah 10%

Diketahui

Capital cost = Rp 905.525.000,-
 P&O cost = Rp 16.855.250,-
 Production kWh = 7.008.000 kWh/tahun
 Total biaya 1 tahun = Rp 922.380.250,-

Maka dengan IRR sebesar 10% dapat diketahui NPV pada tahun pertama adalah

$$\begin{aligned} \text{NPV tahun pertama} &= \frac{\text{production kWh} \times \text{harga jual per kWh} \times \text{biaya 1 tahun}}{(1+i)^n} \\ &= \frac{7.008.000 \times \text{Rp}29.194 \times \text{Rp}922.380.250}{(1+0,1)^1} \\ &= \text{Rp } 170.669.365,45 \end{aligned}$$

NPV tahun kedua sebesar = Rp 155.153.968,60

NPV tahun ketiga sebesar = Rp 141.049.062,36

Seterusnya sampai dengan tahun ke-25

Nilai B/C ratio pada skenario 1 adalah

Internal Rate of Return (IRR) = 10%

NPV kumulatif = $(\sum PV \text{pendapatan} - \sum PV \text{Pengeluaran})$
 = Rp 852.379.272,44

$$\begin{aligned} \text{Benefit Cost Ratio (B/C Ratio)} &= \frac{\sum \text{Pendapatan sampai tahun ke } -n}{\sum \text{pengeluaran}} \\ &= 1,94 \end{aligned}$$

Untuk skenario 2 dengan IRR 15% perhitungannya sama seperti pada skenario 1. Maka setelah dilakukan perhitungan diketahui hasil NPV dan B/C Ratio dengan IRR 10% dan IRR 15% adalah sebagai berikut

Tabel 3 Hasil Perhitungan NPV & B/C Ratio

	IRR	NPV	B/C Ratio
Skenario 1	10%	Rp 852,379,272.44	1.94
Skenario 2	15%	Rp 308,030,444.85	1.34

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa untuk skenario 1 nilai NPV >1 sehingga investasi ini layak untuk dilaksanakan, nilai B/C Ratio pada skenario 1 adalah 1.34 yang dapat diartikan investasi ini layak untuk dilaksanakan. Sedangkan untuk skenario 2 diketahui bahwa nilai NPV > 1 sehingga investasi ini dapat dikatakan layak untuk dilaksanakan, nilai B/C Ratio dari skenario 2 juga >1 sehingga investasi ini layak untuk digunakan.

Selain melakukan perhitungan NPV dan B/C Ratio pada analisis ekonomis juga dilakukan perhitungan terkait perbandingan biaya antara PJU Konvensional yang masih menggunakan listrik dan PJUTS. Untuk membandingkan biaya operasional maka akan dihitung terlebih dahulu pengeluaran rutin PJU Konvensional seperti dibawah ini (contoh perhitungan meterisasi)(Gunawan, 2014).

$$\begin{aligned} \text{Total biaya listrik per tahun} &= (\text{beban : faktor daya}) \times (\text{jumlah pemakaian dalam 1 tahun}) \\ &= (125 \text{ watt}/0.8) \times (131.400 \text{ jam}) \\ &= 20.531.250 \text{ Wh} = 20.531 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan jumlah lampu sama dengan jumlah lampu yang akan dipasang adalah 50 unit, maka total biaya listrik per tahun adalah = 20.531 kWh x 50 unit x Rp 1.524.24 (tarif listrik PJU) = Rp 1.564.727.625 per tahun. Proyeksi investasi selama 25 tahun maka total biaya listrik yang akan dikeluarkan untuk PJU Konvensional adalah Rp 39.118.190.625. nilai tersebut belum termasuk biaya pergantian lampu dan biaya P&O. Selanjutnya dihitung biaya dari PJUTS yang diproyeksikan selama 25 tahun, untuk PJUTS total biaya terdiri dari biaya investasi, biaya pergantian lampu, biaya pergantian baterai, dan biaya P&O, maka :

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{biaya investasi} + \text{biaya pergantian lampu} + \text{biaya pergantian baterai} + \text{biaya P\&O} \\ &= \text{Rp } 905.525.000 + \text{Rp } 50.000.000 + \text{Rp } 145.000.000 + \text{Rp } 226.381.250 \\ &= \text{Rp } 1.326.906.250,- \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diketahui selisih dari biaya peneran PJUTS dan PJU Konvensional sebesar Rp 37.791.284.375,- dengan efisiensi sebesar 97%, sehingga berdasarkan hasil

diatas dapat dikatakan bahwa PJUTS memang efisien dan efektif sebagai alternatif PJU saat ini karena selain ramah lingkungan juga hemat.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis teknis diketahui PJUTS memiliki kelebihan dibandingkan dengan PJU Konvensional yaitu mudah dalam pemasangan, bekerja secara mandiri dan otomatis, dapat digunakan selama 12 jam/hari, tidak menggunakan tenaga listrik, umur ekonomis tinggi, dan ramah lingkungan. PJUTS menggunakan baterai lithium sebagai penyimpan energi listrik, dengan menggunakan baterai lithium PJUTS rawan dicuri dibandingkan baterai biasa, karena sulit untuk dimanfaatkan kembali. Selain itu PJUTS menggunakan lampu LED yang diketahui ramah lingkungan dan memiliki umur pakai yang tinggi. Dan tentunya keunggulan PJUTS yang menggunakan sinar matahari turut serta mendukung gerakan ramah lingkungan sebagai langkah penghematan energi. Jika dilihat dari analisis ekonomis diketahui NPV dan B/C Ratio dari investasi PJUTS ini bernilai positif sehingga dapat dikatakan bahwa investasi PJUTS layak untuk dilaksanakan, sedangkan jika dibandingkan biaya yang dikeluarkan selama 25 tahun diketahui PJUTS dapat menghemat biaya 97% dibandingkan dengan PJU Konvensional.

PUSTAKA

- Astuti, Duwi. Suryoatmajo, Heri., Ashari, Mochamad. (2012). Perancangan Simulator Panel Surya Menggunakan Lab View. Surabaya : Teknik Elektro ITS
- Athanasia A, Lazou., Papatsoris, Anastassios,D. (2000). The Economic of Photovoltaic Stand-Alone Residential Households :A Case Study for Various European and Mediterranean Location. Heslington : Department of Electronics University of York
- ESDM (2012).Photovoltaic. Retrieved from http://www.p3tkebt.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=377&Itemid=486&lang=en
- Erliza, Ayu. Sutopo, W. Widiyanto, A. (2014). Pengembangan Model Kebijakan Promosi Investasi pada Kawasan Teknopolitan. Seminar Nasional IDEC (pp 260-267) Surakarta: Teknik Industri UNS
- Gunawan, Hasta (2014). Strategi Solo Mendukung Konservasi Energi. Surakarta : DKP Kota Surakarta
- Hermanto (2014). Perancangan Desain Solar Street Lamp 12 Volt/30Ah. Bogor : PT. Nipress, tbk
- Hexamitra (2014). PJU Tenaga Surya Penerangan Jalan Umum Mandiri. Jakarta
- Irawan, Ahmad F., Dofhir, Moch., Suyono, Hadi. (2013). Analisis Peningkatan Efisiensi Penerangan Jalan Umum (PJU) di Kabupaten Jember. Malang : Teknik Elektro Brawijaya
- Kusumayogo, Engga.,Wibawa, Unggul., Suyono, Hadi.(2010). Analisis Teknis dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum Solar Cell untuk Kebutuhan Penerangan di Jalan Tol Darmo Surabaya. Malang : Teknik Elektro Brawijaya
- Laraswati, L, D., Wahyudi, S., Atikah, N. (2014). Simulasi Model Analisis Kelayakan Alternatif Bentuk Komersialisasi Perusahaan Mini Plant Baterai Lithium-Ion Di Indonesia. Seminar Nasional IDEC (pp 157-162) Surakarta: Teknik Industri UNS
- PLN Area Surakarta (2014). Sambungan Listrik Surakarta. Retrieved from pln.co.id/dataweb/stat
- Pujawa, I Nyoman. (1995). Ekonomi Teknik. Surabaya: Guna Widya
- Sihombing, D.T.B (2013). Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum dan Taman di Areal Kampus USU dengan menggunakan Teknologi Tenaga Surya (Aplikasi Pendopo dan Lapangan Parkir). Medan : Teknik Elektro USU
- Sulistiono, Ari (2010). Sistem Manajemen Baterai. Retrieved from <http://www.arisulistiono.com/2010/06/sistem-manajemen-baterai.html#.Vbc6PKTtmko>
- Sutopo, W., Atikah, N., Purwanto, A., Nizam, M. (2013). Battery 10 kWh: A Financial Analysis of Mini Manufacturing Plant. Joint International Conference on Rural Information and Communication Technology and Electric Vehicle Technology, Bandung-Bali (26-28 November)
- Tempo (2014). Rapat Kerja Menteri Sudirman Sebut Krisis Listrik. Retrieved from tempo.co/read/news/2014
- Wiguna, I Wayan Y.M., Ariastina, W,G., Kumara,I, N, Satya.(2012). Kajian Pemanfaatan *Stand Alone Photovoltaic System* untuk Penerangan Jalan Umum di Pulau Nusa Penida. Denpasar : Teknik Elektro Udayana