

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMIS PLTS PADA UMKM DI KABUPATEN GARUT (STUDI KASUS: UMKM INTAN BESTARI)

Essy Karundeng

22803002

Abstrak

Energi listrik sangat diperlukan di berbagai aktivitas produksi termasuk di UMKM. Sumber energi listrik alternatif yang dapat digunakan salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat simulasi sistem PLTS beserta dengan studi kelayakan teknis dan ekonomi untuk UMKM. Metode yang digunakan yaitu *mixed method*, metode kualitatif digunakan pada proses perancangan dan kuantitatif pada proses studi kelayakan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh *trade-off* kapasitas sistem yang disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan investasi UMKM, meliputi sistem 1.0 kWp, 2.0 kWp, 3.0 kWp dan 6.0 kWp yang masing-masing memiliki potensi dan resiko yang berbeda. Studi kelayakan menunjukkan bahwa sistem 1.0 kWp merupakan sistem yang paling layak dan berpotensi karena tidak terpengaruh oleh perubahan, sedangkan sistem lainnya sangat sensitif terhadap perubahan dan statusnya dapat menjadi tidak layak pada kondisi perubahan tertentu.

Kata Kunci: Listrik, Sistem PLTS, UMKM, Perancangan, Simulasi PVSyst, Studi Kelayakan

Abstract

Electricity is essential for various production activities, including in Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs). One alternative source of electrical energy that can be utilized is a Photovoltaic System (PV System). This research was conducted to design and create a simulation of an PV System, along with a technical and economic feasibility study for MSMEs. The method used is a mixed-method approach, where qualitative methods were applied in the design process and quantitative methods in the feasibility study process. Based on the research results, a trade-off in system capacity was obtained, tailored to the needs and investment capabilities of MSMEs. This includes 1.0 kWp, 2.0 kWp, 3.0 kWp, and 6.0 kWp systems, each with different potential and risks. The feasibility study indicates that the 1.0 kWp system is the most feasible and promising, as it remains unaffected by changes, while the other systems are highly sensitive to fluctuations and may become infeasible under certain changing conditions.

Keywords: Electricity, PV System, MSMEs, Design, PVSyst Simulation, Feasibility Study

Abstrak

Listrik mangrupikeun unsur anu diperlukeun pisan dina sagala rupa kagiatan produksi, kalebet di Usaha Mikro, Leutik, jeung Menengah (UMKM). Salah sahiji sumber listrik alternatif nyaéta ngamangpaatkeun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Panalitian ieu boga tujuan pikeun ngarancang jeung nyieun simulasi sistem PLTS, sarta nga-analisis kamampuhan téknis jeung ékonomina pikeun UMKM. Panalitian ngagunakeun metode campuran (*mixed-method*), kalayan pendekatan kualitatif dina ngarecah desain sistem jeung pendekatan kuantitatif dina nganalisa aspek kamampuhanna. Hasilna, kapanggih sababaraha pilihan kapasitas sistem anu disaluyukeun jeung kabutuhan jeung kamampuh investasi UMKM, nyaéta sistem 1.0 kWp, 2.0 kWp, 3.0 kWp, jeung 6.0 kWp, anu masing-masing mibanda potensi jeung résiko anu béda. Analisis kamampuhan nunjukkeun yén sistem 1.0 kWp mangrupikeun pilihan anu paling mampuh (*feasible*) tur boga potensi panghadéna, sabab stabilitasna teu kapangaruhan ku parobahan anu mungkin lumangsung. Sabalikna, sistem anu leuwih gedé sensitip pisan kana parobahan, sarta dina kaayaan anu tangtu status kamampuhanna bisa turun jadi teu mampuh.

Kecap Konci: Listrik, Sistem PLTS, UMKM, Rancangan, Simulasi PVSyst, Studi Kamampuhan

A. PENDAHULUAN

Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM) merupakan salah satu tulang punggung perekonomian nasional, termasuk di Kabupaten Garut. UMKM dalam operasionalnya membutuhkan ketersediaan energi salah satunya energi listrik. Pemenuhan kebutuhan energi listrik saat ini di masih sangat bergantung pada pasokan listrik dari PLN, yang apabila terjadi pemadaman maka aktivitas produksi dapat terhenti. Menurut Mago dan Olajuyin masalah listrik sangat berdampak pada operasional UMKM, selain mengganggu produktivitas, juga menambah beban operasional. Sehingga diperlukan alternatif sumber energi yang mungkin diterapkan.

Sumber energi listrik alternatif yang dapat diterapkan yaitu sumber energi terbarukan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS sangat berpotensi untuk diterapkan UMKM di Kabupaten Garut, karena menurut *Global Solar Atlas* Garut termasuk menjadi salah satu lokasi dengan radiasi matahari sangat baik. Berdasarkan ukuran kinerja sistem tenaga surya yaitu *Photovoltaic Output Specific (PVOUT Specific)*, Kabupaten Garut memiliki *PVOUT Specific* 3,333 kWh/kWp dan intensitas radiasi matahari langsung atau *Direct Normal Irradiation (DNI)* 2,424 kWh/m² per hari.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk merancang sistem PLTS sesuai dengan kebutuhan energi di UMKM serta mengevaluasi kelayakan baik secara teknis maupun ekonomi. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan studi kasus yang difokuskan pada salah satu UMKM di Kabupaten Garut yaitu UMKM Intan Bestari sebagai objek penelitiannya. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan solusi efisien dan berkelanjutan bagi para pelaku UMKM dalam upaya memenuhi kebutuhan energi untuk operasionalnya. Kemudian, juga dapat menjadi referensi dalam penerapan energi terbarukan yang dapat direplikasi pada sektor usaha lainnya di Kabupaten Garut.

B. LANDASAN TEORI DAN STUDI LITERATUR

1. Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM)

Menurut UU No. 20 Tahun 2008, Usaha Mikro, Kecil dan Menengah atau UMKM adalah usaha produktif milik perorangan dan/atau badan usaha dengan kriteria tertentu yang telah ditetapkan dalam UU. Yaitu kriteria usaha mikro yang memiliki kekayaan bersih paling banyak Rp 50.000.000 tidak termasuk tanah dan bangunan usaha, atau memiliki hasil penjualan tahunan paling banyak Rp 300.000.000. Usaha kecil memiliki kekayaan bersih lebih dari Rp 50.000.000 dan paling banyak Rp 500.000.000 tidak termasuk tanah dan bangunan usaha, atau memiliki hasil penjualan tahunan lebih dari Rp 300.000.000 sampai dengan Rp 2.500.000.000. Kemudian usaha menengah yang memiliki kekayaan bersih lebih dari Rp 500.000.000 dan

paling banyak Rp 10.000.000.000, atau memiliki hasil penjualan tahunan lebih dari Rp 2.500.000.000 sampai dengan Rp 50.000.000.000 (UU RI No. 20 Tahun 2008).

2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau PLTS adalah pembangkit listrik berbasis energi matahari yang mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Proses konversi dapat dilakukan melalui dua mekanisme, yaitu konversi secara langsung melalui sel fotovoltaik dan tidak langsung melalui teknologi pemusatan energi surya (Rauf dkk., 2023). PLTS memiliki berbagai macam komponen dengan fungsinya masing-masing. Komponen utama PLTS meliputi panel atau modul surya, *inverter* atau *Power Conditioner Unit* (PCU), *Solar Charge Controller* (SCC) dan baterai atau *storage system* (Sianipar, 2017).

Pada umumnya terdapat 3 (tiga) jenis PLTS, yaitu PLTS *off-grid* yang tidak terhubung dengan *grid* atau berdiri sendiri, PLTS *on-grid* yang dihubungkan pada *grid* atau sistem *existing* dan PLTS *hybrid* yang terintegrasi dengan satu atau beberapa pembangkit listrik dengan sumber energi primer yang berbeda, dengan pola operasi terpadu (Sianipar, 2017).

3. Perancangan Sistem Energi PLTS

Perancangan sistem energi PLTS menurut Akkas dkk. (2022) harus dapat dilakukan melalui beberapa tahapan secara sistematis dan mempertimbangkan berbagai faktor. Seperti faktor lingkungan, temperatur PV modul, kondisi cuaca dan intensitas cahaya matahari karena sangat berpengaruh terhadap output energi listrik yang dapat dihasilkan. Perancangan sistem energi PLTS meliputi studi literatur dan observasi lapangan, mengidentifikasi beban dan kebutuhan energi, merancang konsep sistem PLTS, menghitung komponen dan spesifikasi teknis, merencanakan rangkaian dan tata letak listrik, menghitung estimasi biaya, menguji kinerja sistem secara umum, serta menyusun rencana pemasangan dan implementasi PLTS (Akkas dkk., 2022).

4. Studi Kelayakan

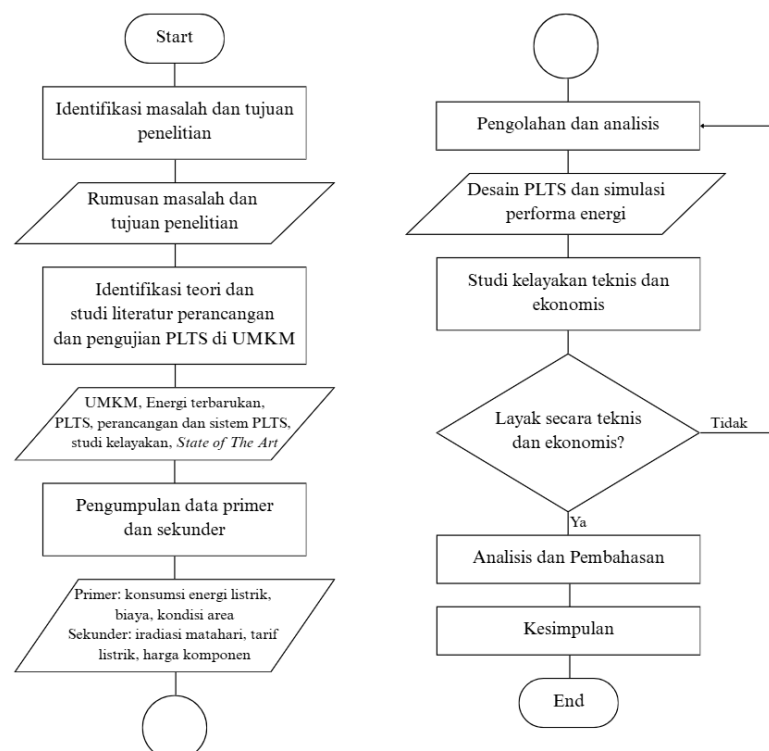
Studi kelayakan adalah evaluasi kelayakan dari suatu usaha yang harus ditangani. Studi kelayakan mengharapkan untuk mengetahui secara tidak memihak dan bijaksana, manfaat dan kerugian dari kegiatan yang ada dan yang akan datang, serta pengaruhnya terhadap kehidupan, aset yang dibutuhkan, dan akhirnya kemungkinan usaha. Studi kelayakan dilakukan sebelum peningkatan khusus dan melakukan eksekusi (Hasan dkk., 2022). Nugraha dan Riyanto (2019) mengungkapkan bahwa beberapa aspek kelayakan yang harus ditinjau di antaranya aspek teknis dan ekonomi. Dalam studi kelayakan peninjauan kedua aspek tersebut sangat penting dilakukan terhadap suatu proyek.

Aspek teknis yang perlu dievaluasi dalam perancangan PLTS agar dianggap layak menurut Nagel (2016) yaitu aspek teknis non-komponen terkait dengan lokasi dan koordinat, tipe dan struktur atap, potensi bayangan, serta luas area yang tersedia. Sedangkan menurut Nafeh (2009) yaitu aspek beban energi listrik dan kapasitas komponen-komponen PLTS.

Aspek ekonomi ditinjau setelah evaluasi aspek-aspek lain selesai dilakukan. Aspek ekonomi mengevaluasi perkiraan jumlah dana yang diperlukan untuk pengadaan investasi. Aspek ini menilai apakah suatu proyek layak dan menguntungkan secara finansial atau tidak. Aspek ini berkaitan dengan analisis finansial seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Return on Investment* (ROI) dan *Payback Period* (Nugraha & Riyanto, 2019). Analisis finansial lain yang dapat mendukung kelayakan ekonomi yaitu *Profitability Index* (PI), analisis DuPont, Analisis *Monte Carlo*, analisis sensitivitas (*sensitivity analysis*) *Levelized Cost of Energy* (LCOE) serta perhitungan CAPEX dan OPEX.

C. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode campuran (*mixed method*), metode kualitatif digunakan pada proses perancangan sistem PLTS yang berbasis pada analisis kebutuhan teknis. Sedangkan metode kuantitatif digunakan dalam pengujian kelayakan teknis pada simulasi performa PLTS, serta pengujian ekonomis terkait dengan perhitungan CAPEX dan OPEX, NPV, IRR, *payback period*, analisis *DuPont*, LCOE, ROI dan PI, analisis sensitivitas serta analisis *Monte Carlo*. Alur dan tahapan penelitian divisualisasikan ke dalam bentuk *flowchart* (diagram alir) pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

1. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer menggunakan metode wawancara dengan pelaku UMKM dan observasi lapangan yang meliputi data kebutuhan dan konsumsi energi listrik UMKM, biaya energi listrik, lokasi UMKM, tipe dan struktur atap, potensi bayangan serta luas area yang tersedia di UMKM. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengakses sumber data yang sudah tersedia yang meliputi data irradiansi matahari melalui *Global Solar Atlas*, tarif listrik PLN, serta harga komponen PLTS dari berbagai *platform* baik *offline* maupun *online*.

2. Metode Perancangan dan Simulasi PLTS

Metode perancangan dan simulasi sistem PLTS pada UMKM diawali dengan analisis data irradiansi matahari yang diperoleh dari pengumpulan data. Berdasarkan data tersebut, perancangan sistem PLTS dapat dilakukan dan disesuaikan juga dengan kebutuhan UMKM. Tetapi, perancangan sistem PLTS juga perlu ditetapkan berdasarkan kapasitas komponen PLTS, karena setiap modul surya memiliki batasan kapasitas tertentu dengan efisiensi berbeda yang tentunya sangat berpengaruh terhadap sistem PLTS. Sehingga batasan kapasitas perancangan PLTS diperlukan sehingga tidak dapat secara spesifik sesuai kebutuhan UMKM.

3. Studi Kelayakan Teknis

Studi kelayakan teknis dilakukan untuk mengetahui apakah rancangan PLTS ini layak atau tidak ditinjau dari aspek teknis baik teknis non-komponen yaitu lokasi dan koordinat UMKM, serta teknis komponen yaitu beban energi dan kapasitas komponen PLTS. Kriteria kelayakan teknisnya yaitu *performance ratio* (PR) $\geq 75\%$ dan *Losses* $\leq 25\%$

4. Studi Kelayakan Ekonomi

Studi kelayakan ekonomi dilakukan dengan menghitung indikator kelayakan ekonomi yang digunakan. Evaluasi kelayakan ekonomi PLTS dilakukan berdasarkan kriteria dari masing-masing indikator kelayakan ekonomi, yaitu $NPV > 0$, $IRR > Discount Rate$, *Payback period* $<$ umur proyek, $ROE > discount rate$, $LCOE = \text{biaya per unit energi} < \text{tarif PLN dan PI}$ > 1 . Selain itu dilakukan analisis sensitivitas dan simulasi *Monte Carlo* untuk mengetahui ketahanan sistem terhadap perubahan dan probabilitas keberhasilan sistemnya.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kebutuhan dan Penggunaan Listrik di UMKM

UMKM Intan Bestari memiliki daya listrik yang terpasang sebesar 2.200 VA (*Volt Ampere*). Biaya energi listrik rata-rata yang dikeluarkan setiap bulan rata-rata sebesar Rp

800.000 per bulan. Dengan tarif listrik PLN sebesar Rp.1.445 per kWh. Sehingga berdasarkan biaya listrik tersebut dapat diasumsikan bahwa konsumsi energi listrik bulanan di UMKM sekitar 553,63 kWh per bulan atau 18,45 kWh per hari.

Penggunaan peralatan dengan konsumsi energi tertinggi mencapai 48% dari total energi listrik yang digunakan yaitu lemari pendingin dengan konsumsi energi 4,8 kWh/hari karena beroperasi 24 jam dengan daya 200 Watt, kemudian mesin *exhaust* sebesar 2 kWh/hari atau sekitar 20% dari total konsumsi energi pada peralatan listrik yang memiliki daya 125 watt dan beroperasi 8 jam per hari. Lalu lampu penerangan sebanyak 15 unit dengan daya 12 Watt yang beroperasi 8 jam per hari sehingga memiliki konsumsi energi sebesar 1.440 Watt/hari atau 14,5% dari total. Selanjutnya yaitu mesin *packing* konsumsi 1 kWh/hari dengan daya 200 Watt dan beroperasi 5 jam per hari. Lalu *mixer* dengan daya 100 Watt beroperasi hanya 0,67 jam/hari dan total konsumsi listrik 670 Watt atau hanya 6,7% dari total. Serta mesin *exp. date* dengan daya 80 Watt dan hanya beroperasi 0,33 jam/hari.

Konsumsi energi listrik di UMKM memiliki perbedaan antara konsumsi energi aktual dengan konsumsi energi teoritis yang berdasarkan hasil perhitungan konsumsi peralatan listrik yang teridentifikasi. Total konsumsi energi listrik aktual berdasarkan rata-rata biaya listrik bulanan di UMKM Intan Bestari yaitu sebesar 553,6 kWh/bulan atau 18,45 kWh/hari. Sedangkan total konsumsi listrik berdasarkan jumlah peralatan dan waktu penggunaan harian adalah 298,01 kWh atau 9,4 kWh per hari. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya yaitu terdapat peralatan listrik tambahan yang digunakan di luar proses produksi, ketidakakuratan waktu operasional peralatan dan faktor daya (*power factor*) yang mungkin lebih rendah dari asumsi 0,8 sehingga menyebabkan konsumsi daya semu (VA) yang lebih tinggi dari konsumsi daya nyata (W).

2. Perancangan dan Simulasi Sistem PLTS

Perancangan dan simulasi sistem PLTS dilakukan dengan menggunakan metode perancangan yang sistematis dan disesuaikan dengan kebutuhan UMKM Intan Bestari serta data primer maupun sekunder yang diperoleh. Proses perancangan melalui berbagai tahapan mulai dari analisis data iradiasi matahari, analisis beban energi, kemudian penentuan kapasitas PLTS, pemilihan komponen, perancangan sistem sampai pada simulasi sistem menggunakan *software* PVSyst.

Pada prosesnya perancangan sistem PLTS menghasilkan *trade-off* kapasitas PLTS yang bertujuan untuk memberikan beberapa pilihan kapasitas sistem. Hal ini dikarenakan perancangan sistem PLTS tidak dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan spesifik UMKM,

tetapi dapat mendekati kebutuhan atau menyesuaikan dengan kemampuan investasi UMKM. Adapun *trade-off* kapasitasnya yaitu sebagai berikut.

1) Kapasitas Minimal 1.0 kWp

Kapasitas minimal 1.0 kWp ini ditentukan berdasarkan kemampuan investasi UMKM pada saat ini yaitu sekitar 10-15 juta rupiah. Adapun kapasitas PLTS dengan besaran investasi tersebut yang paling memungkinkan adalah sistem PLTS 1.0 kWp. Sistem ini dapat digunakan untuk 2 unit mesin *exhaust*, 15 unit lampu penerangan dan 1 unit mesin *packing*. Kelebihannya sistem ini adalah investasi paling rendah dan sesuai dengan kemampuan saat ini, sedangkan kekurangannya yaitu hanya dapat meng-*cover* beberapa peralatan UMKM.

Kapasitas minimal sistem 1.0 kWp menggunakan tegangan sistem 24V dengan pertimbangan teknis dan efisiensi sistem serta menyesuaikan dengan kemampuan investasi UMKM yang terbatas. Komponen utama untuk sistem 1.0 kWp terdiri dari 2 unit panel surya *monocrystalline* 500Wp, 1 unit *inverter* 2000W/24V, baterai *lithium* (LifePO4) 24V/100Ah dan SCC MPPT 40A/100V. Sedangkan untuk konfigurasi *string*-nya sistem ini menggunakan konfigurasi *string* 1S2P atau 1 seri 2 paralel. Artinya dari 2 unit panel surya ini disusun paralel untuk menaikkan arus yang semula 11.69A menjadi 23.38A sedangkan tegangannya tetap sama 42.8V. Selain komponen utama, ada komponen penunjang seperti *mounting structure* serta sistem kabel dan proteksi.

Hasil simulasi menggunakan PVSyst menunjukkan sistem ini menghasilkan energi sebesar 3,87 kWh per hari. Hasil produksi energi ini hampir sama dengan beban energi peralatan pada *user's needs* yaitu 3 kWh. *Performance ratio*-nya yaitu 76,6% dengan *losses* 23,4%, menunjukkan bahwa sistem 1.0 kWp ini memiliki *performance ratio* yang cukup tinggi.

2) Kapasitas Dasar 2.0 kWp

Kapasitas dasar 2.0 kWp ini dapat digunakan untuk 1 unit lemari pendingin, mesin *exhaust*, 1 unit mesin *packing* yang beroperasi 5 jam/hari dan 15 unit lampu penerangan. Kelebihan sistem ini adalah investasi tidak terlalu tinggi tapi sudah bisa memberikan pasokan energi untuk beban paling kritis di UMKM, sedangkan kekurangannya yaitu belum meng-*cover* seluruh beban kritis UMKM, tetapi masih ada kemungkinan daya lebih besar dan menambah peralatan lain.

Kapasitas dasar sistem 2.0 kWp menggunakan tegangan sistem 48V yang didasarkan pada pertimbangan teknis dan efisiensi sistem. Sistem dengan tegangan 48V memiliki kerugian daya paling rendah dibanding 12V dan 24V. Komponen utama untuk sistem 2.0 kWp terdiri dari 4 unit panel surya *monocrystalline* 500Wp, 1 unit *inverter* 3000W/48V, baterai *lithium* (LifePO4) 48V/100Ah dan SCC MPPT 60A/150V. Sedangkan untuk konfigurasi *string*-nya

sistem ini menggunakan konfigurasi *string* 2S2P atau 2 seri 2 paralel. Konfigurasi *string* 2S2P ini artinya masing-masing 2 unit panel surya ini disusun seri terlebih dahulu untuk meningkatkan tegangan menjadi 42.8V, lalu diparalelkan untuk menaikkan arusnya menjadi 23.38A. Selain komponen utama, ada komponen penunjang seperti *mounting structure* serta sistem kabel dan proteksi.

Hasil simulasi menggunakan PVSyst menunjukkan sistem ini menghasilkan energi sebesar 7,66 kWh/hari. Adapun *performance ratio* untuk sistem 2.0 kWp ini yaitu 75,6% dengan *losses* 24,4%, menunjukkan bahwa sistem 2.0 kWp ini memiliki *performance ratio* yang tinggi.

3) Kapasitas Optimal 3.0 kWp

Kapasitas optimal 3.0 kWp ini dapat memenuhi kebutuhan energi beban kritis dan non-kritis UMKM dengan total beban 9,94 kWh/hari. Kelebihan sistem ini adalah dapat mengoperasikan seluruh peralatan yang digunakan selama proses produksi di UMKM, sedangkan kekurangannya yaitu investasi lebih tinggi dan belum meng-cover beban aktual UMKM yang tidak teridentifikasi, tetapi masih ada kemungkinan daya lebih besar dan menambah alokasi daya tersebut.

Kapasitas optimal sistem 3.0 kWp menggunakan tegangan sistem 48V. Pemilihan tegangan sistem 48V ini didasarkan pada pertimbangan teknis dan efisiensi sistem. Sistem dengan tegangan 48V memiliki kerugian daya paling rendah dibanding 12V dan 24V. Komponen utama untuk sistem 3.0 kWp terdiri dari 6 unit panel surya *monocrystalline* 500Wp, 1 unit *inverter* 4000W/48V, baterai *lithium* (LifePO4) 48V/200Ah dan SCC MPPT 80A/180V. Sedangkan untuk konfigurasi *string*-nya sistem ini menggunakan konfigurasi *string* 3S2P atau 3 seri 2 paralel yang merupakan konfigurasi paling optimal dan efisien untuk sistem ini merujuk pada kompatibilitasnya terhadap SCC, efisiensi MPPT dan *safety margin* komponen. Konfigurasi *string* 3S2P ini artinya masing-masing 3 unit panel surya ini disusun seri terlebih dahulu untuk meningkatkan tegangan menjadi 128,6V, setelah itu kedua rangkaian seri tersebut diparalelkan untuk menaikkan arusnya menjadi 23.38A. Selain komponen utama, ada komponen penunjang seperti *mounting structure* serta sistem kabel dan proteksi.

Hasil simulasi menggunakan PVSyst menunjukkan sistem ini menghasilkan energi sebesar 11,64 kWh/hari. Adapun *performance ratio* untuk sistem 3.0 kWp ini yaitu 76,6% dengan *losses* 23,4%, menunjukkan bahwa sistem 3.0 kWp ini memiliki *performance ratio* yang cukup tinggi.

4) Kapasitas Maksimal 6.0 kWp

Kapasitas maksimal 6.0 kWp ini ditentukan berdasarkan seluruh beban aktual di UMKM termasuk beban kritis, beban non-kritis dan beban yang tidak teridentifikasi dengan total beban 18,45 kWh/hari. Dengan mempertimbangkan faktor koreksi sistem dan *peak sun hours*, kapasitas PLTS untuk cakupan beban tersebut yaitu sistem PLTS 6.0 kWp. Kelebihan sistem ini adalah dapat mengoperasikan seluruh peralatan yang digunakan selama proses produksi di UMKM, sedangkan kekurangannya yaitu investasi sangat tinggi dan ada sisa daya cukup besar yang belum teralokasikan sehingga akan berpengaruh ke *performance ratio* sistem karena terakumulasi sebagai *losses*. Tetapi sistem ini sangat memungkinkan dan siap untuk ekspansi ke depannya.

Kapasitas maksimal sistem 6.0 kWp menggunakan tegangan sistem 48V. Pemilihan tegangan sistem 48V ini didasarkan pada pertimbangan teknis dan efisiensi sistem. Sistem dengan tegangan 48V memiliki kerugian daya paling rendah dibanding 12V dan 24V. Komponen utama untuk sistem 6.0 kWp terdiri dari 10 unit panel surya *monocrystalline* 600Wp, 1 unit *inverter* 8000W/48V, baterai *lithium* (LifePO4) 48V/200Ah dan SCC MPPT 100A/200V. Sedangkan untuk konfigurasi *string*-nya sistem ini menggunakan konfigurasi *string* 5S2P atau 5 seri 2 paralel yang merupakan konfigurasi paling optimal dan efisien untuk sistem ini merujuk pada kompatibilitasnya terhadap SCC, efisiensi MPPT dan *safety margin* komponen. Konfigurasi *string* 3S2P ini artinya masing-masing 5 unit panel surya ini disusun seri terlebih dahulu untuk meningkatkan tegangan menjadi 172V, setelah itu kedua rangkaian seri tersebut diparalelkan untuk menaikkan arusnya menjadi 34,9A. Selain komponen utama, ada komponen penunjang seperti *mounting structure* serta sistem kabel dan proteksi.

Hasil simulasi menggunakan PVSyst menunjukkan sistem ini menghasilkan energi sebesar 19,86 kWh/hari. Adapun *performance ratio* untuk sistem 6.0 kWp ini yaitu 65,4% dengan *losses* 34,6%, hasil ini menunjukkan bahwa sistem 6.0 kWp ini memiliki *performance ratio* yang masih rendah dengan *losses* yang cukup tinggi. Tetapi sistem ini masih memungkinkan untuk ditingkatkan dan siap ekspansi ke depannya karena sistem 6.0 kWp ini belum mencapai batas maksimal estimasi produksinya.

3. Studi Kelayakan Teknis dan Ekonomi

Studi kelayakan teknis dan ekonomi dilakukan pada masing-masing sistem PLTS dengan melakukan evaluasi terhadap parameter teknis hasil simulasi PVSyst yaitu *performance ratio* dan *losses* sistem serta parameter ekonomi. Berikut ini merupakan hasil studi kelayakan dari masing-masing sistem PLTS yang dirancang.

1) Sistem 1.0 kWp

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, *performance ratio* sistem PLTS 1.0 kWp ini yaitu 76.6% dengan produksi harian 3.87 kWh/kWp/hari, sehingga sistem 1.0 kWp ini dapat dinyatakan layak secara teknis. Sedangkan menurut aspek ekonomi, sistem 1.0 kWp memiliki CAPEX Rp 19.343.980 dan OPEX Rp 193.440/tahun. Hasil perhitungan menunjukkan sistem ini memiliki NPV positif Rp 4.302.554, IRR 8,24% (>6% diskonto), *payback period* 10,5 tahun (<25 tahun usia proyek), ROE 9,6% (>6% diskonto), LCOE 1.207/kWh (< 1.445/kWh tarif PLN) dan PI 1,2 (>1), sehingga sistem 1.0 kWp dapat dinyatakan layak secara ekonomi. Sistem ini memiliki tingkat pengembalian ROI 5,56%/tahun, hasil analisis sensitivitas menunjukkan sistem ini masih dapat bertahan terhadap perubahan CAPEX $\pm 10\%$ dan tingkat diskonto $\pm 2\%$. Hasil simulasi *Monte Carlo* juga menunjukkan bahwa sistem ini cenderung layak secara ekonomi dengan peluang NPV positif 89,5%. Dengan demikian sistem 1.0 kWp dapat dinyatakan layak baik secara teknis maupun ekonomi.

2) Sistem 2.0 kWp

Berdasarkan hasil simulasi, *performance ratio* sistem PLTS 2.0 kWp ini yaitu 75.6% dengan *losses* 24,4% dan produksi hariannya 3.83 kWh/kWp/hari atau 7,66 kWh/hari. Dengan demikian, sistem PLTS 2.0 kWp ini dapat dinyatakan layak secara teknis. Sedangkan aspek ekonomi, sistem 2.0 kWp memiliki CAPEX Rp 44.178.000 dan OPEX Rp 441.780/tahun. Hasil perhitungan menunjukkan sistem ini memiliki NPV positif Rp 1.803.668, IRR 6,43% (>6% diskonto), *payback period* 12,3 tahun (<25 tahun usia proyek), ROE 8,1% (>6% diskonto), LCOE 1.395/kWh (< 1.445/kWh tarif PLN) dan PI 1,04 (>1), sehingga sistem 2.0 kWp dapat dinyatakan layak secara ekonomi. Sistem ini memiliki tingkat pengembalian ROI 4,14%/tahun, hasil analisis sensitivitas menunjukkan sistem ini belum dapat bertahan terhadap perubahan CAPEX $\pm 10\%$ dan tingkat diskonto $\pm 2\%$ terutama pada penambahan CAPEX dan tingkat diskonto. Hasil simulasi *Monte Carlo* menunjukkan bahwa sistem ini proyek marginal artinya memiliki potensi dan resiko yang hampir seimbang secara ekonomi dengan peluang NPV positif 59,7%. Dengan demikian sistem ini dapat dinyatakan layak baik secara teknis maupun ekonomi.

3) Sistem 3.0 kWp

Berdasarkan hasil simulasi, *performance ratio* sistem PLTS 3.0 kWp yaitu 76.6% dengan *losses* 23.4% dan produksi harian 3.88 kWh/kWp/hari atau 11.64 kWh/hari. Dengan demikian, sistem PLTS 3.0 kWp ini dapat dinyatakan layak secara teknis. Sedangkan menurut aspek ekonomi, sistem 3.0 kWp memiliki CAPEX Rp 68.424.000 dan OPEX Rp 684.240/tahun. Hasil perhitungan menunjukkan sistem ini memiliki NPV positif Rp 1.224.071, IRR 6,19% (>6% diskonto), *payback period* 12,6 tahun (<25 tahun usia proyek), ROE 8% (>6% diskonto), LCOE 1.423/kWh (< 1.445/kWh tarif PLN) dan PI 1,02 (>1), sehingga sistem 3.0 kWp dapat dinyatakan layak secara ekonomi. Sistem ini memiliki tingkat pengembalian ROI 3,96%/tahun, hasil analisis sensitivitas menunjukkan sistem ini belum dapat bertahan terhadap perubahan CAPEX $\pm 10\%$ dan tingkat diskonto $\pm 2\%$ terutama pada penambahan CAPEX dan tingkat diskonto. Hasil simulasi *Monte Carlo* menunjukkan bahwa sistem ini proyek marginal artinya memiliki potensi dan resiko yang hampir seimbang secara ekonomi dengan peluang NPV positif 54,4%. Dengan demikian, sistem ini dapat dinyatakan layak baik secara teknis maupun ekonomi.

4) Sistem 6.0 kWp

Berdasarkan hasil simulasi, sistem 6.0 kWp memiliki *performance ratio* 65,4% dengan *losses* 24,6%. Dengan demikian, secara teknis sistem ini belum layak untuk diterapkan di UMKM Intan Bestari, karena *performance ratio*-nya masih di bawah 75% dan *losses*-nya lebih dari 25%. Sistem 6.0 kWp ini memiliki potensi daya yang terlalu besar untuk memasok kebutuhan beban harian di UMKM saat ini. Sehingga kinerjanya tidak dapat dioptimalkan dengan baik. Tetapi sistem ini siap untuk ekspansi atau menambah peralatan listrik dan UMKM dapat sepenuhnya mandiri tidak bergantung pada pasokan listrik dari sumber lain. Salah satu opsi yang dapat dilakukan untuk sistem ini, karena sistem ini kapasitasnya terlalu besar melebihi kebutuhan aktual UMKM, maka dapat dilakukan pengurangan kapasitas sistem menjadi 5.0 kWp.

Menurut aspek ekonomi, sistem 6.0 kWp memiliki CAPEX Rp 116.908.000 dan OPEX Rp 1.169.080/tahun. Hasil perhitungan menunjukkan sistem ini memiliki NPV positif Rp 2.013.453, IRR 6,18% (>6% diskonto), *payback period* 12,6 tahun (<25 tahun usia proyek), ROE 8% (>6% diskonto), LCOE 1.424/kWh (< 1.445/kWh tarif PLN) dan PI 1,02 (>1), sehingga sistem 6.0 kWp dapat dinyatakan layak secara ekonomi. Sistem ini memiliki tingkat pengembalian ROI 3,96%/tahun, hasil analisis sensitivitas menunjukkan sistem ini belum dapat bertahan terhadap perubahan CAPEX $\pm 10\%$ dan tingkat diskonto $\pm 2\%$ terutama pada penambahan CAPEX dan tingkat diskonto. Hasil simulasi *Monte Carlo* menunjukkan bahwa

sistem ini proyek marginal artinya memiliki potensi dan resiko yang hampir seimbang secara ekonomi dengan peluang NPV positif 53,3%.

Sistem ini dapat dinyatakan layak secara ekonomi tetapi tidak layak secara teknis. Sedangkan apabila kapasitas diturunkan menjadi 5.0 kWp, sistem ini dapat menjadi layak secara teknis tetapi tidak layak secara ekonomi. Sistem ini dapat menjadi layak apabila dilakukan penambahan peralatan listrik atau ekspansi jangka panjang.

E. KESIMPULAN

UMKM Intan Bestari memiliki kebutuhan energi listrik bulanan sekitar 553,63 kWh per bulan atau 18,45 kWh per hari. Beban energi listrik di UMKM tidak sepenuhnya teridentifikasi penggunaannya, hanya sekitar 9,94 kWh energi listrik yang teridentifikasi digunakan untuk peralatan-peralatan produksi. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kemungkinan terdapat peralatan listrik tambahan di luar proses produksi seperti fasilitas karyawan, ketidakakuratan waktu operasional peralatan SEPERTI periode *standby* yang tak terhitung, atau kemungkinan lainnya seperti faktor daya yang mungkin lebih rendah.

Perancangan sistem PLTS dilakukan dengan *trade-off* kapasitas sistem yang diperlukan karena adanya keterbatasan kapasitas komponen sistem PLTS yang tidak memungkinkan untuk dilakukan perancangan sistem dengan kapasitas yang spesifik sesuai dengan kebutuhan UMKM. *Trade-off* ini meliputi 4 sistem, sehingga perancangan dan simulasi dilakukan terhadap ke-empat sistem tersebut yaitu sistem PLTS kapasitas minimal (1.0 kWp), kapasitas dasar (2.0 kWp), kapasitas optimal (3.0 kWp) dan kapasitas maksimal (6.0 kWp).

Berdasarkan hasil studi kelayakan diperoleh sistem PLTS 1.0 kWp, 2.0 kWp dan 3.0 kWp dapat dinyatakan layak karena dapat memenuhi standar kelayakan pada parameter-parameter ujinya baik secara teknis maupun ekonomi. Sedangkan sistem 6.0 kWp secara teknis tidak layak secara teknis tetapi layak secara ekonomi. Sistem ini dapat menjadi layak apabila UMKM melakukan ekspansi atau penambahan peralatan listrik sehingga produksi energi dapat dimaksimalkan.