Jurnal Komputer dan Elektro Sains, Vol.4 No.2, September 2026, 83-94
https://ejournal.sultanpublisher.com/index.php/komets

Received : 2 Oktober 2026; Revision: 5 November 2026; Accepted: 5 November 2026; Publication:8 Novemver 2026.

E-ISSN: 3021-8462, DOI: https://doi.org/10.58291/komets.v4i2.728

Analisis literasi dan kemandirian energi masyarakat melalui pemanfaatan listrik pintar, energi surya, dan *Refuse-Derived Fuel*

Christiono[1*], Andi Dyah Harum[1], Mohammad Ahsan[1], Taufik Hidayat[2], Septian Dwi Andana[1]
[1]Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, 11750, Indonesia

Penulis Korespondensi : Christiono (e-mail: christiono@itpln.ac.id)

ABSTRAK

Edukasi energi dan edukasi sampah umumnya dilakukan secara terpisah, padahal rumah tangga sekaligus merupakan konsumen listrik, calon pengguna energi surya, dan sumber bahan baku *Refuse-Derived Fuel* (RDF). Kajian ini bertujuan menganalisis respons warga terhadap edukasi literasi listrik pintar, energi surya, dan RDF, serta mengestimasi potensi energi surya dan timbulan sampah sebagai dasar program kemandirian energi. Kegiatan dilaksanakan pada 22–24 Januari 2026 di Perumahan Sangiang Islamic Village, Kabupaten Tangerang, menggunakan desain metode campuran konvergen. Data kualitatif dari daftar hadir, notulensi, materi, dan dokumentasi dianalisis secara tematik dan ditriangulasi, sedangkan komponen kuantitatif berupa estimasi berbasis data sekunder. Hasil pengamatan langsung menunjukkan 60 peserta hadir dan lima warga tercatat menyampaikan respons, tiga terkait sampah dan dua terkait listrik dan energi surya. Hasil estimasi menunjukkan setiap 1 kWp PLTS atap berpotensi menghasilkan 74–134 kWh/bulan, sedangkan timbulan sampah lingkungan sekitar 100 KK diperkirakan 188–350 kg/hari. Kontribusi kajian ini adalah kerangka literasi terpadu yang menghubungkan efisiensi konsumsi, produksi energi surya, dan pemilahan sampah, beserta tahapan implementasi dan rancangan evaluasinya. Kajian ini tidak mengukur peningkatan literasi.

KATA KUNCI Energi surya; kemandirian energi; listrik pintar; literasi energi; *Refuse-Derived Fuel*.

ABSTRACT

Energy education and waste education are generally delivered separately, although households are at once electricity consumers, potential solar energy users, and sources of Refuse-Derived Fuel (RDF) feedstock. This study analyzes residents' responses to literacy education on smart electricity, solar energy, and RDF, and estimates the local solar energy potential and waste generation as a basis for energy self-sufficiency programs. The activity was held on 22–24 January 2026 at Sangiang Islamic Village housing complex, Tangerang Regency, using a convergent mixed methods design. Qualitative data from attendance lists, discussion notes, materials, and documentation were thematically analyzed and triangulated, while the quantitative component consisted of estimates based on secondary data. Direct observation showed 60 participants and five residents recorded giving responses, three on waste and two on electricity and solar energy. The estimates indicate that each 1 kWp of rooftop PV could generate 74–134 kWh/month, while waste generation from about 100 households is estimated at 188–350 kg/day. The contribution is an integrated literacy framework linking consumption efficiency, solar generation, and waste sorting, together with implementation stages and an evaluation design. Literacy improvement was not measured.

KEYWORD *energy literacy; energy self-sufficiency; refuse-derived fuel; smart electricity; solar energi*.

Jurnal Komputer dan Elektro Sains, Vol.4 No.2, September 2026, 83-94
https://ejournal.sultanpublisher.com/index.php/komets

Received : 2 Oktober 2026; Revision: 5 November 2026; Accepted: 5 November 2026; Publication:8 Novemver 2026.

E-ISSN: 3021-8462, DOI: https://doi.org/10.58291/komets.v4i2.728

1. PENDAHULUAN

Permukiman merupakan ruang penting dalam penerapan pembangunan berkelanjutan karena aktivitas rumah tangga berhubungan langsung dengan konsumsi energi, penggunaan peralatan listrik, dan timbulan sampah. Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030 menempatkan akses energi yang bersih dan terjang kau serta pola konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab sebagai bagian dari tujuan global [1]. Pertumbuh an kebutuhan energi tanpa disertai peningkatan efisiensi dapat menambah beban biaya rumah tangga dan kebutu han penyediaan energi. Pada saat yang sama, timbulan sampah perkotaan dunia diproyeksikan terus meningkat hingga tahun 2050 [2], sehingga pengelolaan sampah tidak dapat berhenti pada pengumpulan dan pembuang an, tetapi perlu mencakup pengurangan, pemilahan, pemanfaatan kembali, dan pemulihan sumber daya. Konsep kemandirian energi pada tingkat masyarakat perlu dipahami secara lebih luas. Kemandirian tidak hanya berarti menghasilkan energi sendiri, tetapi juga mencakup kemampuan masyarakat mengenali kebutu han energi, menggunakan energi secara efisien, meman faatkan sumber energi lokal, dan mengambil keputusan berbasis informasi. Oleh karena itu, literasi energi meru pakan fondasi sebelum suatu komunitas diarahkan pada penerapan teknologi energi yang lebih kompleks. Literasi energi sendiri tidak hanya mencakup pengetah uan, tetapi juga sikap dan perilaku terkait energi [3]. Dalam kajian ini, literasi energi dipandang sebagai prasyarat kemandirian energi: pengetahuan menentukan pilihan teknologi yang tepat, sikap menentukan kesedi aan warga untuk berpartisipasi, dan perilaku menentuk an apakah efisiensi dan pemilahan sampah benar-benar dilakukan.

Energi surya relevan untuk dikenalkan di lingkungan permukiman karena dapat dimanfaatkan pada skala rumah tangga. Secara global, pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik menjadi penyumbang utama pertum buhan kapasitas energi terbarukan [4], [5], didukung oleh penurunan biaya pembangkitan dalam satu dekade terakhir [6]. Di Indonesia, perkembangan pemanfaatan energi baru terbarukan dipantau melalui statistik resmi sektor energi baru, terbarukan, dan konservasi energi [7]. Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 Tahun 2024 mengatur penyelenggaraan pembangkit listrik tenaga surya atap yang terhubung pada jaringan tenaga listrik pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum [8]. Namun, keputusan penerapan PLTS tetap perlu mempertimbangkan potensi sumber daya, profil beban, kondisi lokasi, konfigurasi sistem, biaya, keselamatan, operasi dan pemeliharaan, serta ketentuan teknis yang berlaku.

Pada sisi lingkungan, pemanfaatan sampah menjadi energi dapat menjadi bagian dari pengelolaan sampah berkelanjutan. *Refuse-Derived Fuel* (RDF) merupakan bahan bakar yang dihasilkan melalui pengolahan fraksi sampah tertentu sehingga memiliki karakteristik yang memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Penelitian pada RDF Plant Cilacap menunjukkan bahwa proses *mechanical-biological treatment* dan *biodrying* dapat mengubah karakteristik sampah, termasuk menurunkan kadar air dan meningka tkan nilai kalor, tetapi mutu RDF tetap perlu dievaluasi agar sesuai dengan kebutuhan penggunaannya [9]. Penerapan RDF juga telah dikaji pada pengelolaan sampah di TPA Piyungan [10], pada sampah hasil penambangan TPST Bantargebang [11], dan pada potensi energi sampah kota di Provinsi Bali [12], serta dimanfaatkan sebagai bahan bakar gasifikasi [13]. Karakteristik bahan baku menjadi aspek penting dalam RDF. Komposisi, kadar air, ukuran partikel, nilai kalor, dan kadar abu berpengaruh terhadap kualitas dan kelayakan pemanfaatannya. Selain itu, sebagian sampah rumah tangga seperti baterai bekas dan limbah elektronik tergolong limbah bahan berbahaya dan beracun yang penanganannya memiliki ketentuan tersendiri [14]. Karena itu, edukasi masyarakat mengenai RDF perlu menekankan bahwa tidak semua sampah rumah tangga dapat langsung diubah menjadi RDF dan bahwa pemilahan merupakan bagian penting dari rantai proses.

Ketiga tema tersebut saling terkait pada tingkat rumah tangga melalui tiga hubungan. Pertama, hubungan beban dan kapasitas: efisiensi listrik menurunkan beban sehingga kapasitas PLTS yang dibutuhkan untuk tingkat kemandirian yang sama menjadi lebih kecil. Kedua, hubungan regulasi dan perilaku: tanpa skema ekspor listrik PLTS atap [8], manfaat PLTS bergantung pada kesesuaian antara produksi siang hari dan pola konsumsi, sehingga literasi listrik pintar menjadi syarat pemanfaatan energi surya. Ketiga, hubungan sumber dan bahan baku: rumah tangga yang menjadi konsumen energi juga merupakan sumber sampah, mutu bahan baku RDF ditentukan oleh pemilahan di sumber, dan proses pengolahan RDF sendiri membutuhkan energi listrik [15]. Karena ketiga hubungan tersebut bertemu pada keputusan rumah tangga, edukasi yang memisahkan ketiga tema berisiko menghasilkan pemahaman yang terfragmentasi.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat bertema energi surya telah dilakukan, antara lain melalui diseminasi teknologi fotovoltaik kepada generasi muda di Pulau Gili Ketapang [16] dan sosialisasi pemanfaatan energi surya bagi masyarakat Kabupaten Deli Serdang [17]. Edukasi pengelolaan sampah berbasis masyarakat juga telah dilakukan melalui sosialisasi Tempat Olah Sampah Setempat (TOSS) yang meningkatkan pengetahuan masyarakat dalam mengolah sampah menjadi sumber energi [18] serta penerapan pola 3R untuk memperoleh manfaat ekonomi [19]. Sementara itu, kajian RDF umumnya berfokus pada skala instalasi pengolahan atau tempat pemrosesan akhir [9], [10], [11], [12], [15]. Perbandingan kritis terhadap rujukan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan kritis kegiatan dan penelitian terdahulu

Rujukan	Fokus dan sasaran	Kontribusi	Keterbatasan yang relevan	Posisi kegiatan ini
[16]	Diseminasi fotovoltaik kepada generasi muda, Pulau Gili Ketapang	Pengenalan teknologi surya kepada kelompok muda	Satu tema energi; tidak mengaitkan dengan efisiensi konsumsi dan sampah	Mengaitkan energi surya dengan efisiensi konsumsi rumah tangga
[17]	Sosialisasi EBT tenaga surya, Kabupaten Deli Serdang	Sosialisasi EBT kepada masyarakat umum	Satu tema energi surya	Energi surya ditempatkan sebagai salah satu dari tiga tema yang saling terkait
[18]	Sosialisasi TOSS dan listrik kerakyatan, masyarakat pedesaan	Pengolahan sampah menjadi energi berbasis masyarakat	Konteks pedesaan; fokus pada pengolahan sampah	Konteks perumahan perkotaan dengan penekanan pada pemilahan di sumber
[19]	Pengelolaan sampah pola 3R	Perubahan paradigma sampah dan manfaat ekonomi	Tidak mencakup aspek energi listrik	Mengaitkan pengelolaan sampah dengan pemulihan energi
[9], [10], [11], [12], [15]	Produksi, potensi, dan perencanaan RDF pada fasilitas, TPA, atau wilayah	Data teknis proses dan mutu RDF	Skala fasilitas; peran rumah tangga tidak menjadi fokus	Menerjemahkan rantai RDF menjadi peran rumah tangga
Penelitian ini	Literasi listrik pintar, energi surya, dan RDF, warga Perumahan Sangiang Islamic Village	Kerangka literasi terpadu tiga tema dan identifikasi titik masuk edukasi	Skala satu perumahan; dampak jangka panjang belum diukur	–

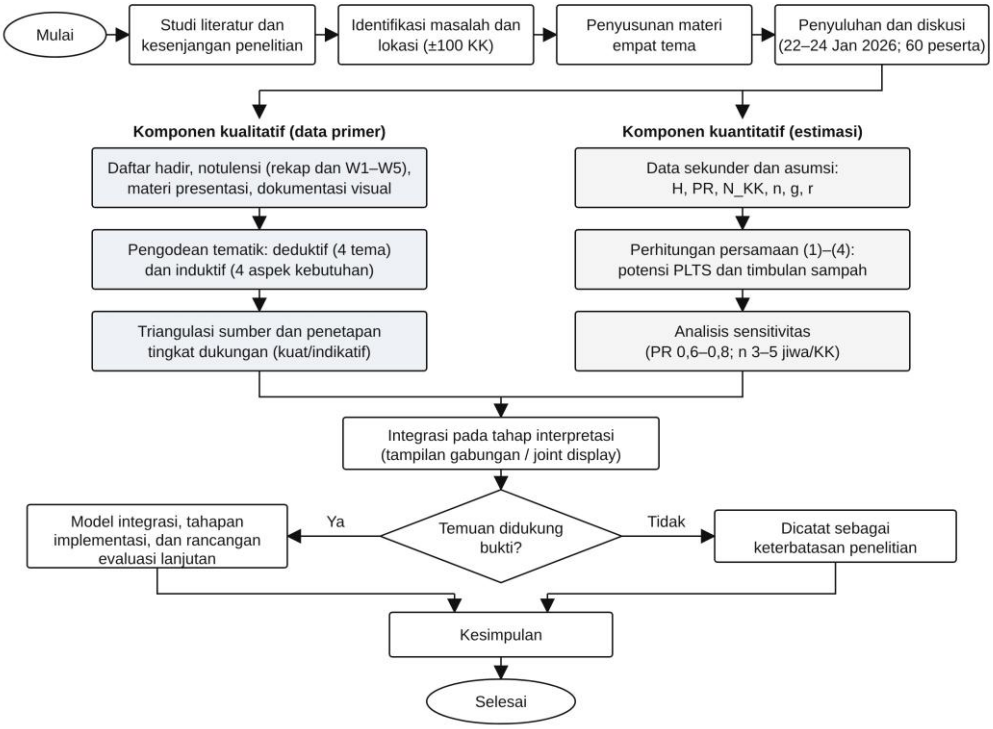
Tabel 1 menunjukkan dua kesenjangan. Pertama, kegiatan edukasi energi dan edukasi sampah pada rujukan yang ditinjau umumnya dilakukan secara terpisah, sehingga keterkaitan antara konsumsi listrik, pembangkitan energi surya, dan pemulihan energi dari sampah belum dibahas dalam satu kerangka literasi. Kedua, kajian RDF berfokus pada skala fasilitas, sedangkan peran rumah tangga sebagai sumber bahan baku belum banyak dibahas. Kontribusi kajian ini adalah: (1) menyusun kerangka literasi terpadu yang menghubungkan efisiensi listrik, energi surya, dan RDF pada tingkat rumah tangga; (2) menganalisis respons warga untuk mengidentifikasi titik masuk edukasi yang paling relevan; dan (3) menyusun indikator terukur sebagai dasar program lanjutan. Dibandingkan rujukan tersebut, kebaruan kajian ini terletak pada tiga hal: (a) unit analisisnya adalah rumah tangga di perumahan perkotaan, bukan fasilitas atau wilayah; (b) ketiga tema digabungkan dalam satu kerangka berdasarkan hubungan antarkomponen yang diuraikan sebelumnya; dan (c) temuan kualitatif dari kegiatan dipadukan dengan estimasi kuantitatif lokal sebagai dasar perancangan program.

Permasalahan dalam konteks kegiatan ini adalah perlunya peningkatan pemahaman masyarakat mengenai keterkaitan antara efisiensi energi, energi terbarukan, dan pengelolaan sampah berbasis energi. Kajian ini tidak menyatakan bahwa teknologi PLTS atau RDF telah diterapkan di lokasi, dan tidak mengklaim peningkatan literasi yang belum diukur. Kajian ini merupakan tahap edukasi dan analisis potensi, sehingga setiap klaim dibatasi pada bukti yang tersedia.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kajian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis respons dan titik masuk literasi warga pada tema listrik pintar, energi surya, dan RDF melalui kegiatan edukasi; (2) mengestimasi potensi energi surya dan timbulan sampah di lokasi kegiatan sebagai dasar kuantitatif kemandirian energi; dan (3) menyusun model integrasi serta indikator terukur untuk program lanjutan.

2. METODE

Kajian menggunakan desain metode campuran konvergen (*convergent mixed methods design*) [20]. Dalam desain ini, data kualitatif dan kuantitatif dikumpulkan dan dianalisis secara terpisah, kemudian diintegrasikan pada tahap interpretasi. Komponen kualitatif merupakan data primer dari pelaksanaan kegiatan, sedangkan komponen kuantitatif merupakan estimasi berbasis data sekunder dan asumsi yang dinyatakan secara eksplisit. Komponen kuantitatif tidak dimaksudkan untuk mengukur dampak kegiatan, melainkan untuk menempatkan respons warga dalam besaran fisik lokasi, yaitu potensi energi surya dan timbulan sampah. Diagram alir metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian dengan desain metode campuran konvergen

2.1. Lokasi, waktu, dan sasaran

Kegiatan dilaksanakan pada 22–24 Januari 2026 di Perumahan Sangiang Islamic Village, Kecamatan Sepatan, Kabupaten Tangerang, Banten. Lingkungan kegiatan dihuni oleh sekitar 100 kepala keluarga (KK) berdasarkan data tim pelaksana. Peserta kegiatan berjumlah 60 orang berdasarkan daftar hadir, yang tidak mencatat asal rumah tangga peserta. Dosen dan mahasiswa Institut Teknologi PLN berperan sebagai narasumber, fasilitator, dan pendamping.

2.2. Tahapan kegiatan

Kegiatan menggunakan pendekatan edukatif-partisipatif. Pendekatan ini dipilih agar materi tidak hanya disampaikan secara satu arah, tetapi juga dikaitkan dengan pengalaman warga dalam penggunaan listrik dan pengelolaan sampah. Rangkaian kegiatan terdiri atas empat tahap, yaitu identifikasi permasalahan, penyuluhan empat tema materi, diskusi interaktif, dan identifikasi tindak lanjut, sebagaimana ditunjukkan pada bagian atas Gambar 1.

2.3. Materi edukasi

Materi edukasi disusun dalam empat tema yang saling berkaitan, mulai dari pengendalian konsumsi energi hingga pemanfaatan sampah sebagai sumber energi. Rincian tema, materi, dan fokus literasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Materi edukasi

Tema	Materi	Fokus literasi
Listrik pintar	Pemantauan konsumsi, efisiensi, dan perilaku penggunaan listrik	Mengenali dan mengendalikan konsumsi energi
EBT/PLTS	Prinsip energi surya, manfaat, peluang, dan batasan	Memahami peluang EBT di rumah tangga
Sampah	Pengurangan, pemilahan, dan pemanfaatan	Membangun perilaku pengelolaan sampah
RDF	Konsep, bahan baku, proses, mutu, dan pemanfaatan	Memahami RDF secara teknis-konseptual

2.4. Pengumpulan dan dokumentasi data

Data kualitatif dikumpulkan selama pelaksanaan kegiatan melalui empat sumber, seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Daftar hadir diisi peserta pada setiap sesi. Selama sesi diskusi, anggota tim pelaksana mencatat respons warga dalam notulensi dengan dua format. Format pertama adalah rekap tematik yang memuat respons masyarakat, permasalahan yang dihadapi, dan solusi yang disampaikan tim. Format kedua adalah catatan individu yang memuat respons atau masukan setiap warga yang berbicara beserta solusi yang diusulkan. Nama warga tidak tercatat dalam notulensi, sehingga dalam analisis warga diberi kode W1–W5. Dokumentasi visual berupa foto diambil oleh tim selama penyampaian materi dan diskusi, sedangkan materi presentasi disimpan sebagai berkas tayangan. Kegiatan ini tidak dilengkapi instrumen *pre-test* dan *post-test*, sehingga perubahan pengetahuan peserta tidak diukur.

Tabel 3. Sumber data, prosedur, dan jenis analisis

Sumber data	Prosedur pencatatan	Analisis
Daftar hadir	Diisi peserta pada setiap sesi	Jumlah peserta (deskriptif)
Notulensi rekap tematik	Dicatat tim selama diskusi: respons, permasalahan, dan solusi tim	Pengodean tematik
Notulensi individu (W1–W5)	Dicatat tim untuk setiap warga yang menyampaikan respons	Pengodean tematik dan hitungan deskriptif
Materi presentasi	Disimpan sebagai berkas tayangan	Kesesuaian materi dengan tema
Dokumentasi visual	Foto selama penyampaian materi dan diskusi	Verifikasi format pelaksanaan
Data jumlah KK	Data tim pelaksana (±100 KK)	Estimasi timbulan sampah
Iradiasi wilayah Tangerang [21]	Data sekunder hasil pemodelan	Estimasi potensi PLTS

Kriteria respons yang dianalisis adalah seluruh respons yang tercatat dalam notulensi, tanpa seleksi, dengan syarat respons tersebut dapat dikaitkan dengan sedikitnya satu tema materi. Kelima respons individu dan kelima butir rekap tematik memenuhi kriteria tersebut, sehingga tidak ada respons yang dikeluarkan. Percakapan yang tidak tercatat dalam notulensi, misalnya percakapan informal di luar sesi, tidak dianalisis.

2.5. Kategorisasi dan analisis data kualitatif

Respons warga dianalisis menggunakan analisis tematik [22] dengan lima langkah. Pertama, notulensi dibaca berulang untuk memahami isi respons. Kedua, setiap respons diberi kode tema secara deduktif berdasarkan empat tema materi. Ketiga, respons yang sama diberi kode aspek kebutuhan secara induktif, yaitu lingkungan, sistem pengelolaan, ekonomi, dan literasi. Kerangka pengodean ditunjukkan pada Tabel 4. Keempat, setiap temuan dicocokkan dengan sumber data lain dalam matriks triangulasi sumber. Kelima, tingkat dukungan setiap temuan ditetapkan: temuan dinyatakan *kuat* apabila didukung sedikitnya dua sumber berbeda, *indikatif* apabila hanya didukung satu sumber, dan tidak dinyatakan apabila tidak didukung bukti. Jumlah respons per tema dilaporkan sebagai hitungan deskriptif dan tidak digunakan untuk menggambarkan preferensi seluruh peserta.

Tabel 4. Kerangka pengodean respons warga

Kode tema	Definisi	Contoh respons
Listrik pintar	Keselamatan, efisiensi, dan pengendalian konsumsi listrik	Harapan listrik yang lebih hemat (W5)
Energi surya	Pemanfaatan PLTS untuk rumah atau lingkungan	Kebutuhan penerangan lingkungan (W4)
Sampah	Penumpukan, pemilahan, dan pengelolaan sampah	Keluhan penumpukan dan bau (W1)
RDF	Pemanfaatan sampah sebagai bahan bakar	Pertanyaan sampah sebagai energi (W3)

2.6. Persamaan dan tahapan perhitungan

Komponen kuantitatif dihitung menggunakan persamaan (1) sampai (4). Seluruh variabel, satuan, dan sumber nilai ditunjukkan pada Tabel 5. Energi harian PLTS dihitung menggunakan persamaan (1), dengan asumsi bahwa iradiasi harian dalam kWh/m²/hari setara dengan jam matahari puncak.

$$E_{PV} = P_{PV} \times H \times PR \quad (1)$$

Kapasitas PLTS yang dibutuhkan untuk memenuhi beban harian tertentu dihitung menggunakan persamaan (2).

$$P_{PV} = \frac{E_{beban}}{H \times PR} \quad (2)$$

Timbulan sampah dihitung menggunakan persamaan (3), dan potensi bahan baku RDF dihitung menggunakan persamaan (4).

$$T = N_{KK} \times n \times g \quad (3)$$

$$R_{RDF} = T \times r \quad (4)$$

Tabel 5. Variabel, satuan, dan sumber nilai pada persamaan (1)–(4)

Simbol	Keterangan	Satuan	Nilai dan sumber
E_{PV}	Energi harian PLTS	kWh/hari	Hasil persamaan (1)
P_{PV}	Kapasitas PLTS	kWp	1 kWp (acuan) atau hasil persamaan (2)
H	Iradiasi global horizontal harian	kWh/m²/hari	4,11–5,58 [21]
PR	Rasio kinerja sistem	–	0,75; uji 0,6 dan 0,8 [23]
E_{beban}	Beban harian yang dipenuhi	kWh/hari	3,33 (setara 100 kWh/bulan)
T	Timbulan sampah	kg/hari	Hasil persamaan (3)
N_{KK}	Jumlah kepala keluarga	KK	±100; data tim pelaksana
n	Jumlah jiwa per KK	jiwa/KK	4; uji 3 dan 5 (asumsi)
g	Laju timbulan sampah	kg/jiwa/hari	0,625–0,70 [24]
R_{RDF}	Potensi bahan baku RDF	kg/hari	Hasil persamaan (4)
r	Rendemen RDF	–	0,5 sebagai batas atas [15]

Tahapan perhitungan adalah sebagai berikut: (a) menetapkan nilai H dari data sekunder; (b) menghitung E_{PV} untuk P_{PV} = 1 kWp dengan PR = 0,6; 0,75; dan 0,8; (c) mengonversi hasil harian menjadi bulanan dengan mengalikan 30 hari; (d) menghitung P_{PV} untuk E_{beban} = 3,33 kWh/hari; (e) menghitung T untuk n = 3, 4, dan 5 jiwa/KK; dan (f) menghitung R_{RDF} dengan r = 0,5. Analisis sensitivitas pada langkah (b) dan (e) digunakan karena nilai PR dan n tidak diukur di lokasi.

2.7. Integrasi data kualitatif dan kuantitatif

Integrasi kedua komponen dilakukan pada tahap interpretasi menggunakan tabel tampilan gabungan (*joint display*) [20]. Setiap temuan kualitatif dipasangkan dengan estimasi kuantitatif yang relevan, kemudian keduanya ditafsirkan bersama untuk menentukan bentuk intervensi yang realistis. Dengan cara ini, data kualitatif menunjukkan masalah yang dirasakan warga, sedangkan data kuantitatif

menunjukkan besaran fisik masalah tersebut. Hasil integrasi disajikan pada subbab 3.6.

2.8. Data pembanding

Pembahasan aspek RDF dilengkapi data sekunder dari studi perencanaan pengolahan sampah menjadi RDF berkapasitas 10 ton per hari di TPS 3R KSPN Borobudur, Kabupaten Magelang [15]. Data tersebut hanya digunakan untuk menjelaskan peran rumah tangga dalam rantai proses RDF dan bukan merupakan hasil pengukuran pada kegiatan ini. Data tersebut dipilih karena memuat parameter rantai proses RDF berbasis sampah domestik yang dapat dibandingkan, yaitu kapasitas, tahapan proses, dan kebutuhan energi. Keterbatasannya adalah lokasi yang berbeda, karakteristik sampah yang mungkin berbeda, dan nilai rendemen RDF 50% pada studi tersebut yang merupakan asumsi berdasarkan proyek lain, bukan hasil pengukuran [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dibahas dalam dua kelompok. Kelompok pertama adalah hasil kegiatan di lokasi, yaitu partisipasi dan temuan edukasi. Kelompok kedua adalah hasil analisis potensi, yaitu estimasi potensi PLTS dan timbulan sampah, yang dilengkapi data sekunder RDF dari lokasi lain sebagai pembanding. Hasil pengamatan langsung disajikan pada subbab 3.1–3.2, sedangkan hasil estimasi pada subbab 3.4–3.5.

3.1. Pelaksanaan dan partisipasi warga

Kegiatan berlangsung selama tiga hari dan diikuti oleh 60 warga berdasarkan daftar hadir, dari lingkungan yang dihuni sekitar 100 KK. Karena daftar hadir tidak mencatat asal rumah tangga, kajian ini tidak menyatakan cakupan rumah tangga: satu rumah tangga dapat diwakili oleh lebih dari satu peserta atau tidak terwakili sama sekali. Materi disampaikan oleh tim dosen dan mahasiswa, kemudian peserta diberikan ruang untuk menyampaikan pertanyaan dan pengalaman.

Dokumentasi pada Gambar 2 memperlihatkan tiga ciri pelaksanaan. Pertama, kegiatan menggunakan format lesehan dengan peserta duduk melingkar di serambi lokasi kegiatan, sehingga jarak antara narasumber dan warga relatif dekat dan mendukung dialog dua arah. Kedua, peserta terdiri atas warga laki-laki dan perempuan. Ketiga, materi listrik pintar ditayangkan dengan judul *Safe and Smart Electricity* dan pesan kunci “Pahami Bahayanya, Benahi Instalasinya, Aman Pakainya, Ringan Tagihannya”. Pesan tersebut menunjukkan bahwa literasi listrik pintar dalam kegiatan ini mencakup aspek keselamatan instalasi sekaligus efisiensi biaya. Gambar 2 juga memperlihat kan anggota tim yang mencatat jalannya diskusi dan mendokumentasikan kegiatan.



Gambar 2. Penyampaian materi listrik pintar dan diskusi bersama warga

3.2. Temuan edukasi berdasarkan bukti kualitatif

Hasil triangulasi bukti kualitatif pada setiap tema ditunjukkan pada Tabel 6, lengkap dengan tingkat dukungan setiap temuan. Pada tema listrik pintar, catatan diskusi menunjukkan antusiasme warga terhadap peluang penghematan biaya listrik. Pada tema energi surya, warga menunjukkan ketertarikan terhadap pemanfaatan panel surya skala rumah tangga. Pada tema sampah, catatan tim menunjukkan bahwa warga menyambut baik program ini karena dikaitkan dengan masalah penumpukan sampah di lingkungan perumahan, dan diskusi memunculkan peluang pengelolaan sampa h secara komunal.

Tabel 6. Temuan edukasi berdasarkan triangulasi bukti kualitatif

Tema	Temuan terdokumentasi	Sumber bukti	Tingkat dukungan	Makna bagi literasi
Listrik pintar	Materi menekankan keselamatan instalasi dan penghematan tagihan; warga antusias membahas penghematan biaya listrik	Materi presentasi, notulensi (W5), foto	Kuat	Motivasi ekonomi sebagai pintu masuk
Energi surya	Ketertarikan terhadap panel surya skala rumah tangga; kebutuhan penerangan lingkungan	Laporan kegiatan, notulensi (W4, W5)	Kuat	Minat ada; batasan dan perencanaan perlu dikuatkan
Sampah dan RDF	Keluhan penumpukan, bau, dan beban TPA; permintaan nilai tambah dan edukasi	Notulensi (Tabel 7; W1–W3), laporan kegiatan	Kuat	Masalah yang dirasakan langsung menjadi pintu masuk
Partisipasi	60 warga hadir; 5 warga tercatat menyampaikan respons; format lesehan melingkar	Daftar hadir, notulensi, foto	Kuat	Format partisipatif mendukung keterlibatan

Respons warga pada tema sampah tercatat lebih rinci dalam notulensi tim, seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Notulensi mencatat lima respons yang dapat dikelompokkan ke dalam empat aspek, yaitu kenyamanan dan kesehatan lingkungan (respons 1 dan 2), beban sistem pengelolaan sampah (respons 3), nilai ekonomi (respons 4), dan kebutuhan literasi (respons 5). Kolom solusi pada tabel tersebut merupakan tanggapan yang disampaikan tim pelaksana, bukan pernyataan warga.

Tabel 7. Notulensi respons masyarakat terkait pengelolaan sampah

No.	Respons masyarakat	Permasalahan yang dihadapi	Solusi yang disampaikan tim
1	Masyarakat mengeluhkan penumpukan sampah di lingkungan tempat tinggal	Lingkungan menjadi kotor dan tidak nyaman	Mengolah sampah yang memenuhi persyaratan menjadi bahan bakar alternatif RDF
2	Masyarakat merasa terganggu oleh bau tidak sedap dari tumpukan sampah	Sampah organik yang membusuk menimbulkan bau	Memilah sampah dan mengolah fraksi yang sesuai menjadi RDF, sedangkan sampah organik yang tidak sesuai diolah melalui pengomposan atau metode lain
3	Masyarakat menginginkan pengurangan volume sampah yang dibuang ke TPA	Kapasitas TPA semakin terbebani	Memanfaatkan fraksi sampah yang memiliki nilai kalor memadai sebagai bahan baku RDF
4	Masyarakat membutuhkan solusi pengelolaan sampah yang memberikan nilai tambah	Sebagian sampah yang masih memiliki potensi energi belum dimanfaatkan	Mengubah fraksi sampah yang sesuai menjadi bahan bakar alternatif bagi industri yang memenuhi persyaratan teknis dan lingkungan
5	Masyarakat membutuhkan edukasi mengenai pengelolaan sampah modern	Pemilahan dan pemanfaatan sampah belum dilakukan secara optimal	Sosialisasi mengenai pemilahan sampah, proses produksi RDF, serta manfaat dan risikonya

Tabel 7 memberikan dua bukti penting. Pertama, keluhan warga bersifat konkret dan dirasakan langsung, yaitu penumpukan, bau, dan beban TPA, sehingga masalah sampah dapat menjadi titik masuk literasi. Kedua, respons kelima menunjukkan bahwa warga sendiri menyatakan kebutuhan edukasi pengelolaan sampah modern, sehingga kesenjangan literasi pada aspek ini diakui oleh masyarakat, bukan hanya diasumsikan oleh tim. Tanggapan tim pada respons kedua juga menunjukkan bahwa RDF tidak disampaikan sebagai solusi tunggal: sampah organik basah yang menimbulkan bau lebih tepat diolah melalui pengomposan, sedangkan RDF diarahkan pada fraksi yang memenuhi persyaratan nilai kalor.

Selain rekap tematik, notulensi juga mencatat respons individu warga yang menyampaikan pertanyaan atau masukan selama diskusi, seperti ditunjukkan pada Tabel 8. Identitas warga dianonimkan dengan kode W1–W5.

Tabel 8. Respons individu warga dalam notulensi diskusi

Kode	Respons atau masukan	Tema	Tanggapan tim
W1	Keluhan penumpukan sampah yang menimbulkan bau tidak sedap	Sampah dan RDF	Mengolah fraksi sampah yang sesuai menjadi RDF
W2	Usulan edukasi pemilahan sampah agar pengelolaan lebih efektif	Sampah dan RDF	Sosialisasi pemilahan sampah organik, anorganik, dan bahan baku RDF
W3	Pertanyaan tentang pemanfaatan sampah sebagai sumber energi alternatif	Sampah dan RDF	Penjelasan RDF sebagai bahan bakar alternatif untuk industri yang sesuai
W4	Kebutuhan penerangan di lingkungan permukiman	Energi surya	Kajian PLTS untuk penerangan sesuai kondisi dan kebutuhan setempat
W5	Harapan pemanfaatan listrik yang lebih hemat dan berkelanjutan	Listrik pintar dan energi surya	Edukasi efisiensi energi dan pemanfaatan PLTS

Tabel 8 menunjukkan bahwa lima warga tercatat menyampaikan respons. Tiga respons berkaitan dengan sampah dan RDF, sedangkan dua respons berkaitan dengan listrik dan energi surya. Karena hanya mencakup lima warga dan tidak dipilih secara acak, sebaran tersebut bersifat deskriptif dan tidak dapat digeneralisasi sebagai preferensi 60 peserta. Sebaran ini hanya menunjukkan topik yang muncul dalam diskusi, dan konsisten dengan rekap tematik pada Tabel 7. Respons W2 dan W3 juga menunjukkan bahwa sebagian warga tidak hanya mengeluh, tetapi sudah mengajukan usulan dan pertanyaan yang mengarah pada solusi, yaitu edukasi pemilahan dan pemanfaatan sampah sebagai energi. Pada tema energi, respons W4 menunjukkan kebutuhan penerangan lingkungan, bukan hanya PLTS atap untuk rumah; kebutuhan ini dibahas pada subbab 3.4. Respons W5 menunjukkan bahwa efisiensi dan keberlanjutan dipandang sebagai satu kesatuan oleh warga. Temuan tersebut perlu dibaca dalam batas buktinya, sebagaimana diuraikan pada subbab 3.9. Oleh karena itu, kegiatan ini belum dapat menyatakan peningkatan pengetahuan seperti yang dilaporkan pada sosialisasi TOSS [18], maupun perubahan pola pengelolaan sampah seperti pada penerapan pola 3R [19]. Bukti yang tersedia mengindikasikan dua titik masuk literasi, yaitu biaya listrik dan penumpukan sampah, yang merupakan masalah yang dirasakan langsung oleh warga.

3.3. Listrik pintar sebagai dasar efisiensi energi

Ketertarikan peserta terhadap penghematan biaya listrik menunjukkan bahwa efisiensi energi dapat menjadi pintu masuk yang relevan untuk edukasi kemandirian energi. Listrik pintar dalam kegiatan ini tidak dibatasi pada perangkat tertentu, tetapi dipahami sebagai pendekatan yang mencakup keselamatan instalasi, pemantauan dan pemahaman pola konsumsi, serta pengendalian penggunaan energi. Penggabungan pesan keselamatan dan penghematan sesuai dengan kebutuhan rumah tangga, karena keputusan untuk menambah atau mengganti peralatan listrik selalu terkait dengan kondisi instalasi yang ada.

Dari sisi kemandirian energi, efisiensi merupakan komponen yang paling cepat dan paling murah dilakukan rumah tangga karena tidak memerlukan investasi peralatan pembangkit. Harapan W5 terhadap listrik yang lebih hemat dan berkelanjutan sejalan dengan urutan tersebut. Pesan keselamatan pada materi juga relevan sebagai prasyarat, karena penambahan beban atau pemasangan PLTS di rumah memerlukan instalasi yang aman.

Secara praktis, program lanjutan dapat dimulai dari audit energi sederhana di rumah tangga. Peserta dapat diajak mengidentifikasi peralatan dengan konsumsi tinggi, jam penggunaan, peluang pengurangan beban, dan perubahan perilaku. Data tersebut kemudian digunakan sebagai data awal sebelum masyarakat diperkenalkan pada teknologi pembangkit energi terbarukan.

3.4. Edukasi EBT dan potensi PLTS rumah tangga

Diskusi mengenai panel surya menunjukkan adanya ketertarikan terhadap pemanfaatan energi matahari. Hal ini sejalan dengan kegiatan serupa di daerah lain yang juga menempatkan sosialisasi dan diseminasi sebagai langkah awal pengenalan teknologi surya kepada masyarakat [16], [17]. Edukasi PLTS perlu diarahkan agar masyarakat tidak hanya memahami manfaat, tetapi juga batasan dan kebutuhan perencanaannya. Informasi yang relevan meliputi kebutuhan energi, profil beban, potensi radiasi matahari, luas area pemasangan, konfigurasi sistem, kebutuhan *inverter* dan proteksi, aspek keselamatan, pemeliharaan, serta ketentuan interkoneksi [8].

Untuk memberikan dasar kuantitatif bagi minat warga tersebut, potensi PLTS atap di lokasi kegiatan diestimasi menggunakan persamaan (1) dan (2). Perhitungan menggunakan iradiasi global horizontal hasil pemodelan spasial wilayah Tangerang tahun 2024, yaitu 4,11–5,58 kWh/m²/hari [21], bukan hasil pengukuran di lokasi. Nilai tersebut berlaku untuk bidang mendatar, sehingga kemiringan, arah atap, dan bayangan yang berbeda dapat mengubah energi yang diterima. Rasio kinerja merangkum rugi-rugi akibat suhu modul, inverter, kabel, dan kotoran. Nilai dasar 0,75 dipilih dari rentang 0,6–0,8 yang umum dilaporkan untuk sistem terhubung jaringan [23], dan pengaruhnya diuji melalui analisis sensitivitas. Dengan rasio kinerja 0,75, setiap 1 kWp diperkirakan menghasilkan 3,08–4,19 kWh/hari atau sekitar 92–126 kWh/bulan. Analisis sensitivitas pada Tabel 9 menunjukkan bahwa untuk rasio kinerja 0,6–0,8, nilai tersebut berkisar 74–134 kWh/bulan, dan kapasitas untuk memenuhi konsumsi 100 kWh/bulan berkisar 0,75–1,35 kWp. Nilai ini merupakan potensi produksi energi, bukan penghematan listrik aktual. Penghematan aktual hanya terjadi pada energi yang dikonsumsi langsung saat diproduksi, sehingga bergantung pada profil beban siang hari rumah tangga, yang tidak diukur dalam kajian ini.

Tabel 9. Estimasi dan sensitivitas potensi PLTS atap di lokasi kegiatan

Parameter	Nilai	Keterangan
Iradiasi harian (*H*)	4,11–5,58 kWh/m²/hari	Pemodelan wilayah Tangerang, 2024 [21]
Energi per 1 kWp, *PR* = 0,6	74–100 kWh/bulan	Persamaan (1), batas bawah
Energi per 1 kWp, *PR* = 0,75	92–126 kWh/bulan	Persamaan (1), nilai dasar
Energi per 1 kWp, *PR* = 0,8	99–134 kWh/bulan	Persamaan (1), batas atas
Kapasitas untuk 100 kWh/bulan	0,75–1,35 kWp	Persamaan (2), *PR* 0,6–0,8

Analisis ini juga memiliki implikasi regulasi. Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 Tahun 2024 menghapus skema ekspor-impor listrik PLTS atap [8], sehingga kelebihan produksi siang hari tidak mengurangi tagihan. Akibatnya, kapasitas PLTS rumah tangga sebaiknya disesuaikan dengan beban siang hari, bukan total konsumsi bulanan. Untuk kebutuhan penerangan lingkungan yang disampaikan warga (W4), PLTS mandiri tanpa koneksi jaringan menjadi pilihan yang lebih sesuai. Hal ini menegaskan bahwa audit energi dan pemahaman profil beban, yang merupakan bagian dari literasi listrik pintar, perlu dilakukan sebelum keputusan investasi PLTS. Karena belum ada pemasangan PLTS pada kegiatan ini, keberhasilan pada tahap ini diukur melalui kesiapan dan pemahaman warga, bukan melalui klaim penghematan energi. Selain itu, kemampuan membayar biaya investasi, luas dan kondisi atap, serta ketentuan kuota PLTS atap pada sistem setempat tidak dianalisis dalam kajian ini.

3.5. Edukasi pengelolaan sampah dan RDF

RDF diperkenalkan sebagai salah satu alternatif pemanfaatan fraksi sampah yang memiliki potensi energi. Materi ini penting karena mengubah cara panda ng masyarakat dari sampah sebagai residu menjadi ma terial yang sebagian dapat dipulihkan dan dimanfaat kan. Namun, pemanfaatan RDF membutuhkan pengend alian mutu. Proses *biodrying* dapat menurunkan kadar air dan meningkatkan nilai kalor, tetapi kualitas produk tetap perlu disesuaikan dengan kebutuhan penggunanya [9], dan kelayakan bahan baku bergantung pada karakteristik sampah [11], [12]. Pemanfaatan RDF juga memerlukan fasilitas pengolahan dan pengguna akhir yang jelas [10], [13].

Untuk memberikan dasar kuantitatif bagi masalah penumpukan sampah yang disampaikan warga, timbula n sampah di lokasi diestimasi menggunakan persamaan (3) dan (4). Jumlah KK berasal dari data tim pelaksana. Jumlah jiwa per KK tidak tersedia dari data lokasi, sehingga digunakan nilai dasar 4 jiwa/KK dengan uji sensitivitas 3 dan 5 jiwa/KK. Laju timbulan 0,625–0,70 kg/jiwa/hari diambil dari standar spesifikasi timbulan sampah untuk kota kecil dan sedang [24]. Nilai ini dipilih sebagai pendekatan konservatif, tetapi standar tersebut disusun pada tahun 1995 dan tidak dirancang khusus untuk wilayah metropolitan seperti Kabupaten Tangerang, sehingga timbulan aktual dapat lebih tinggi. Rendemen 50% diambil dari studi pembanding [15] dan diperlakukan sebagai batas atas, karena sampah rumah

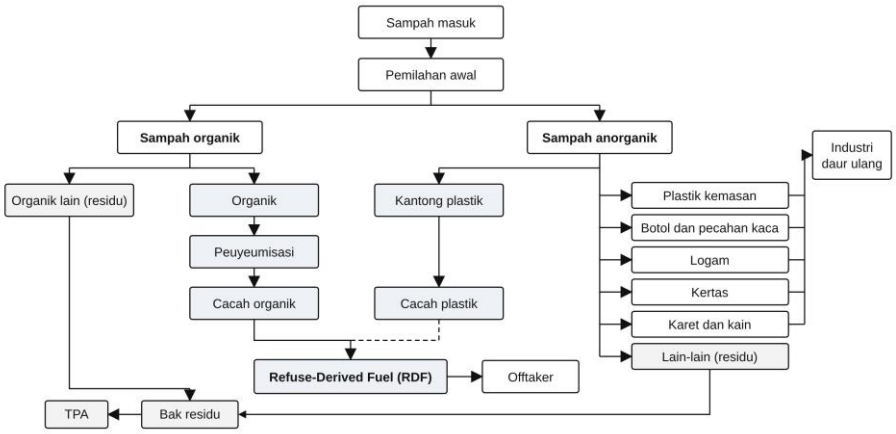
tangga umumnya didominasi fraksi organik basah yang tidak seluruhnya sesuai menjadi RDF.

Hasil estimasi pada Tabel 10 menunjukkan timbulan sampah sekitar 250–280 kg/hari untuk nilai dasar, atau 188–350 kg/hari dalam rentang sensitivitas. Dengan rendemen 50%, potensi bahan baku RDF paling tinggi sekitar 94–175 kg/hari. Angka ini merupakan estimasi dan belum memperhitungkan komposisi maupun kadar air sampah di lokasi.

Tabel 10. Estimasi dan sensitivitas timbulan sampah serta potensi bahan baku RDF

Skenario	Timbulan (T)	Potensi RDF (R_{RDF}, r = 0,5)
n = 3 jiwa/KK	188–210 kg/hari	94–105 kg/hari
n = 4 jiwa/KK (dasar)	250–280 kg/hari	125–140 kg/hari
n = 5 jiwa/KK	313–350 kg/hari	156–175 kg/hari
Asumsi tetap	N_{KK} = 100; g = 0,625–0,70 kg/jiwa/hari [24]	r = 0,5 sebagai batas atas [15]

Estimasi tersebut menjelaskan mengapa masalah penumpukan sampah dirasakan warga: tanpa pengurang an dan pemilahan, sekitar 0,2–0,35 ton sampah dihasilk an setiap hari dari satu lingkungan perumahan. Di sisi lain, timbulan tersebut hanya sekitar 1,9–3,5% dari kapasitas fasilitas pembanding sebesar 10 ton/hari [15]. Artinya, satu perumahan tidak cukup untuk menopang fasilitas RDF sendiri, sehingga peran yang lebih realistis adalah memilah sampah dan menyalurkannya ke TPS 3R atau bank sampah. Untuk menjelaskan posisi rumah tangga dalam rantai proses tersebut, digunakan data sekunder dari TPS 3R KSPN Borobudur, Kabupaten Magelang [15]. Data ini berasal dari lokasi dan penelitian yang berbeda, tidak diukur di Perumahan Sangiang Islamic Village, dan tidak diperlakukan sebagai hasil kegiatan. Rantai proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 3, dengan fokus pada implikasi setiap tahap bagi perilaku warga, bukan pada desain fasilitas.



Gambar 3. Skema pengolahan sampah menjadi RDF dengan metode peuyeumisasi di TPS 3R KSPN Borobudur, digambar ulang dari data sekunder [15]

Gambar 3 menunjukkan bahwa sampah tercampur harus dipilah terlebih dahulu sebelum diolah, sehingga peran rumah tangga yang paling realistis dalam rantai RDF adalah pemilahan sampah di sumber. Pada fasilitas pembanding, pemilahan dilakukan secara manual di atas *conveyor*, *biodrying* menurunkan kadar air hingga di bawah 20% dalam 5–7 hari, dan mesin pengolahan memerlukan listrik sekitar 228,75 kWh/hari [15]. Studi pembanding tersebut juga menyarankan agar pengelola membeli sampah yang sudah dipilah melalui program bank sampah [15]. Temuan ini sejalan dengan sambutan warga terhadap program dan munculnya peluang pengelolaan sampah komunal dalam diskusi. Dengan demikian, program RDF berpotensi membantu mengurangi penumpukan sampah apabila dimulai dari pemilahan di sumber dan kerja sama dengan TPS 3R atau bank sampah. Potensi tersebut belum dapat dinyatakan sebagai pengurangan sampah yang terukur karena kegiatan ini belum mencakup penimbangan, pengukuran komposisi, maupun kadar air sampah warga.

3.6. Integrasi temuan kualitatif dan estimasi kuantitatif

Integrasi kedua komponen disajikan dalam tampilan gabungan pada Tabel 11. Setiap keluhan atau masukan warga dipasangkan dengan estimasi yang relevan, kemudian diterjemahkan menjadi intervensi yang dapat dijalankan oleh warga bersama mitra. Kriteria realistis yang digunakan adalah intervensi tidak memerlukan fasilitas pengolahan mandiri, dapat dimulai tanpa investasi besar, dan memiliki pihak yang jelas sebagai pelaksana.

Tabel 11. Tampilan gabungan temuan kualitatif, estimasi kuantitatif, dan intervensi

Temuan kualitatif (sumber)	Estimasi kuantitatif	Interpretasi terpadu	Intervensi yang realistis
Keluhan penumpukan dan bau sampah (Tabel 7 butir 1–2; W1)	Timbulan 188–350 kg/hari	Volume harian cukup besar untuk menimbulkan masalah di satu lingkungan	Pemilahan di sumber, pengomposan sampah organik, dan jadwal pengangkutan terpilah
Keinginan mengurangi sampah ke TPA dan memperoleh nilai tambah (butir 3–4; W3)	Potensi RDF paling tinggi 94–175 kg/hari, atau 1,9–3,5% kapasitas fasilitas pembanding	Volume tidak cukup untuk fasilitas RDF mandiri	Bank sampah untuk fraksi bernilai jual dan penyaluran fraksi bahan RDF ke TPS 3R
Kebutuhan edukasi pemilahan (butir 5; W2)	Tidak ada data kuantitatif	Kesenjangan literasi diakui oleh warga sendiri	Pelatihan pemilahan bertahap yang dievaluasi dengan *pre-test* dan *post-test*
Harapan listrik hemat dan minat penghematan biaya (W5)	1 kWp menghasilkan 74–134 kWh/bulan; tanpa ekspor listrik	Manfaat PLTS bergantung pada beban siang hari	Audit energi dan efisiensi lebih dahulu, kemudian PLTS sesuai beban siang hari
Kebutuhan penerangan lingkungan (W4)	1 kWp menghasilkan sekitar 2,5–4,5 kWh/hari	Penerangan bersama dapat dilayani PLTS mandiri	Kajian penerangan jalan tenaga surya untuk fasilitas umum perumahan

Tabel 11 menunjukkan bahwa intervensi yang paling realistis berada pada tingkat perilaku dan kelembagaan warga, bukan pada pembangunan fasilitas. Keberlanjutan intervensi tersebut bergantung pada keberadaan pengelola tetap di tingkat warga, seperti kader atau pengurus bank sampah, serta mitra di luar perumahan yang menerima sampah terpilah. Kedua syarat ini menjadi dasar tahapan implementasi pada subbab 3.7.

3.7. Model integrasi dan tahapan implementasi

Kontribusi model integrasi terletak pada keterkaitan antartema yang tidak muncul apabila setiap tema diajarkan secara terpisah. Pertama, efisiensi listrik menurunkan beban sehingga kapasitas PLTS yang dibutuhkan menjadi lebih kecil, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan (2). Kedua, kebijakan tanpa ekspor listrik membuat pemahaman profil beban menjadi syarat sebelum memasang PLTS. Ketiga, rantai RDF membutuhkan energi listrik dalam proses pengolahannya dan bergantung pada mutu pemilahan di rumah tangga. Keterkaitan ini dirangkum pada Tabel 12.

Tabel 12. Model integrasi energi dan lingkungan

Komponen	Intervensi literasi	Tahap lanjutan	Keterkaitan dengan tema lain
Konsumsi listrik	Keselamatan dan efisiensi listrik	Audit energi rumah tangga	Menentukan beban siang hari sebagai dasar kapasitas PLTS
Energi surya	Potensi, batasan, dan regulasi PLTS atap	Studi kelayakan dan proyek percontohan	Kapasitas mengecil apabila efisiensi diterapkan lebih dahulu
Sampah	Pemilahan di sumber	Karakterisasi sampah dan bank sampah	Menentukan mutu bahan baku RDF
Energi dari sampah	Konsep dan rantai proses RDF	Kerja sama dengan TPS 3R	Proses RDF juga merupakan beban listrik

Agar model tersebut dapat diterapkan, keterkaitan antarkomponen diterjemahkan menjadi lima tahap implementasi pada Tabel 13. Hubungan operasional antartahap bersifat berurutan: data beban dan timbulan dari tahap I menjadi dasar ukuran intervensi pada tahap II sampai IV, sedangkan hasil evaluasi pada tahap V menjadi masukan untuk memperbaiki tahap II. Pihak yang terlibat ditentukan berdasarkan peran yang dibutuhkan; kesediaan setiap pihak belum dikonfirmasi dan perlu dijajaki pada tahap I. Setiap tahap dilengkapi indikator keberhasilan yang terukur. Seluruh target pada tabel tersebut merupakan sasaran perencanaan yang belum dicapai dan tidak boleh dibaca sebagai hasil kajian ini.

Tabel 13. Tahapan implementasi model integrasi dan indikator keberhasilan

Tahap	Kegiatan	Pihak yang terlibat	Hubungan operasional	Indikator dan target rencana (belum dicapai)
I. Persiapan dan data awal	Pembentukan kader warga; audit energi rumah contoh; penimbangan sampah harian	Pengurus RT/RW dan pengelola perumahan, kader warga, tim perguruan tinggi	Menghasilkan profil beban siang hari dan timbulan aktual sebagai pengganti asumsi	Profil beban minimal 20 rumah; data timbangan sampah 30 hari
II. Efisiensi dan pemilahan	Pelatihan keselamatan dan efisiensi listrik; pemilahan organik, anorganik bernilai jual, dan fraksi bahan RDF	Warga, kader, tim perguruan tinggi	Efisiensi menurunkan beban untuk tahap IV; pemilahan menentukan mutu fraksi untuk tahap III	Minimal 20 rumah memilah; jumlah penanya per sesi melebihi data awal 5 penanya
III. Kelembagaan sampah	Bank sampah, pengomposan, dan kerja sama penyaluran fraksi RDF	Pengurus bank sampah, TPS 3R, dinas lingkungan hidup kabupaten	Fraksi bernilai jual ke bank sampah, fraksi RDF ke TPS 3R, sampah organik ke pengomposan	Satu bank sampah aktif; satu kesepakatan tertulis dengan TPS 3R; massa terpilah bulanan tercatat
IV. Energi surya	Studi kelayakan PLTS atap rumah contoh dan penerangan tenaga surya fasilitas umum	Tim perguruan tinggi, pengelola perumahan, PLN setempat untuk PLTS atap terhubung jaringan	Kapasitas ditentukan dari profil beban tahap I dan hasil efisiensi tahap II	Satu kajian kelayakan berisi kapasitas, produksi, dan waktu balik modal
V. Evaluasi dan replikasi	*Pre-test* dan *post-test*, lembar observasi, dan pemantauan indikator	Tim perguruan tinggi dan kader warga	Hasil evaluasi menjadi masukan perbaikan tahap II	Kenaikan skor *post-test* yang signifikan ($p < 0{,}05$) sesuai rancangan pada subbab 3.8

3.8. Rancangan evaluasi program lanjutan

Subbab ini merupakan rancangan evaluasi untuk program berikutnya dan tidak memuat hasil pengukuran. Evaluasi direncanakan menggunakan desain satu kelompok *pre-test* dan *post-test* dengan kuesioner literasi energi tiga dimensi [3]: pengetahuan (butir benar-salah atau pilihan ganda), serta sikap dan perilaku (skala Likert 1–5), pada empat tema materi. Instrumen diuji validitas isinya melalui penilaian ahli, diujicobakan di luar sampel, dan diuji reliabilitasnya dengan kriteria Cronbach $\alpha \geq 0{,}70$. Normalitas selisih skor diuji dengan uji Shapiro–Wilk; perbedaan skor diuji dengan uji-t berpasangan apabila normal atau uji peringkat bertanda Wilcoxon apabila tidak, dengan kriteria $p < 0{,}05$ disertai ukuran efek. Perubahan rata-rata skor dilaporkan menggunakan persamaan (5), dengan P adalah persentase peningkatan, S_{post} adalah rata-rata skor *post-test*, dan S_{pre} adalah rata-rata skor *pre-test*.

$$P = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{pre}} \times 100\% \qquad (5)$$

3.9. Keterbatasan penelitian

Pertama, iradiasi matahari berasal dari pemodelan wilayah, bukan pengukuran di lokasi, sehingga pengaruh kemiringan, arah atap, dan bayangan tidak tercakup. Kedua, konsumsi listrik dan profil beban siang hari rumah tangga tidak diukur, sehingga potensi produksi PLTS tidak dapat diterjemahkan menjadi penghematan aktual. Ketiga, komposisi dan kadar air sampah tidak diukur, sehingga potensi RDF hanya dinyatakan sebagai batas atas. Keempat, tidak ada produksi RDF aktual di lokasi; data proses RDF berasal dari lokasi lain, sedangkan rendemen, jumlah jiwa per KK, dan laju timbulan menggunakan asumsi dan standar umum. Kelima, data respons hanya mencakup lima warga yang tercatat, tidak dipilih secara acak, dan tidak disertai pengukuran pengetahuan sebelum dan sesudah kegiatan. Karena itu, angka potensi energi dan pemulihan sampah dalam kajian ini menunjukkan orde besaran untuk perencanaan, bukan kinerja yang telah tercapai.

4. KESIMPULAN

Temuan aktual kajian ini adalah: 60 peserta hadir berdasarkan daftar hadir; lima warga tercatat menyampaikan respons, tiga terkait sampah dan dua terkait listrik dan energi surya; serta notulensi mencatat keluhan penumpukan sampah, bau, dan beban TPA, kebutuhan nilai tambah, kebutuhan edukasi pengelolaan sampah modern, dan kebutuhan penerangan lingkungan. Bukti tersebut mengindikasikan titik masuk literasi, tetapi tidak menggambarkan preferensi seluruh peserta.

Temuan estimasi berbasis data sekunder dan asumsi menunjukkan potensi produksi 74–134 kWh/bulan per 1 kWp PLTS atap, yang bukan merupakan penghematan aktual, serta timbulan sampah 188–350 kg/hari dengan potensi bahan baku RDF paling tinggi 94–175 kg/hari. Besaran tersebut tidak cukup untuk fasilitas RDF mandiri, sehingga peran warga yang realistis adalah pemilahan di sumber dan penyaluran ke TPS 3R atau bank sampah.

Kontribusi kajian ini adalah kerangka literasi terpadu tiga tema beserta tahapan implementasi dan rancangan evaluasinya. Kajian ini tidak mengukur dan tidak menyimpulkan adanya peningkatan literasi atau pengetahuan warga. Program lanjutan diprioritaskan pada evaluasi *pre-test* dan *post-test* dengan instrumen tervalidasi, audit energi minimal 20 rumah, serta pemilahan dan bank sampah dengan data timbangan bulanan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada warga Perumahan Sangiang Islamic Village atas partisipasi aktif selama kegiatan, serta kepada Institut Teknologi PLN atas dukungan pendanaan pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat melalui hibah dengan Nomor Kontrak PU 080/PU/B08/08/2025 dan Nomor Kontrak PkM 170/PkM/B08/08/2025. Apresiasi juga disampai kan kepada dosen dan mahasiswa yang terlibat dalam persiapan, penyampaian materi, dokumentasi, dan pend ampingan.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] United Nations, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, United Nations, New York, 2015.

[2] S. Kaza, L. C. Yao, P. Bhada-Tata, F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, World Bank, Washington, DC, 2018.

[3] J. E. DeWaters, S. E. Powers, "Energy literacy of secondary students in New York State (USA): A measure of knowledge, affect, and behavior," *Energy Policy*, vol. 39, no. 3, hlm. 1699–1710, 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2010.12.049.

[4] International Renewable Energy Agency, *Renewable Capacity Statistics 2024*, IRENA, Abu Dhabi, 2024.

[5] International Energy Agency, *Renewables 2024: Analysis and Forecast to 2030*, IEA, Paris, 2024.

[6] International Renewable Energy Agency, *Renewable Power Generation Costs in 2023*, IRENA, Abu Dhabi, 2024.

[7] Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, *Statistik EBTKE 2023*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Jakarta, 2023.

[8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 Tahun 2024 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum*, Jakarta, 2024.

[9] E. M. Maulidayanti, M. Yuliani, M. H. Robbani, W. Wiharja, E. Hambali, D. Setyaningsih, "Evaluasi produksi Refuse-Derived Fuel (RDF) dari sampah perkotaan (studi kasus: RDF Plant di Kabupaten Cilacap)," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 25, no. 2, hlm. 179–189, 2024, doi: 10.55981/jtl.2024.1008.

[10] D. Prihandoko, C. W. Purnomo, P. K. Widyaputra, N. Nasirudin, "Application of Refuse-Derived Fuel (RDF) plant in Piyungan landfill municipal solid waste management," *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, no. 2, hlm. 296–305, 2022, doi: 10.22146/ajche.75560.

[11] T. Resmianty, A. M. Fauzi, E. Hartulistiyoso, S. Pertiwi, "Potential utilization of municipal solid waste in landfill mining TPST Bantargebang Bekasi to become refuse derived fuel (RDF) feed stock," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 12, no. 2, hlm. 281–289, 2022, doi: 10.29244/jpsl.12.2.281-289.

[12] I. W. K. Suryawan, I. M. W. Wijaya, N. K. Sari, I. Y. Septiariva, N. L. Zahra, "Potential of energy municipal solid waste (MSW) to become refuse derived fuel (RDF) in Bali Province, Indonesia," *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 10, no. 1, hlm. 9–15, 2021, doi: 10.15294/jbatv10i1.29804.

[13] I. M. D. M. Hermawan, I. N. S. Winaya, I. G. P. A. Suryawan, I. P. A. Y. Pratama, "Variasi equivalence ratio pada gasifikasi downdraft berbahan bakar RDF sampah kota," *Jurnal METTEK*, vol. 10, no. 1, hlm. 11–18, 2024, doi: 10.24843/METTEK.2024.v10.i01.p02.

[14] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*, Jakarta, 2021.

[15] A. D. H. Hardyanti, "Perencanaan kapasitas daya, jaringan tegangan rendah dan instalasi kelistrikan pada produksi pengolahan sampah menjadi Refuse Derived Fuel (RDF) di Kota Magelang," Tesis, Program Studi Magister Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN, Jakarta, 2024.

[16] Y. Cahyono dkk., "Empowering Gili Ketapang Island: dissemination of environmentally friendly photovoltaic technology to the young generation," *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, vol. 7, no. 2, hlm. 79–85, 2021, doi: 10.22146/jpkm.38330.

[17] R. Naibaho dkk., "Sosialisasi pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) tenaga surya bagi masyarakat Kabupaten Deli Serdang," *Karya Unggul: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–7, 2025.

[18] A. S. Nur Chairat, J. Edy, V. Antono, N. Nofirman, M. M. Rumondor, "Sosialisasi penerapan listrik kerakyatan untuk mengatasi masalah kebutuhan energi listrik di pedesaan," *TERANG*, vol. 1, no. 1, hlm. 69–78, 2019, doi: 10.33322/terang.v1i139.

[19] R. B. Setianingrum, "Pengelolaan sampah dengan pola 3R untuk memperoleh manfaat ekonomi bagi masyarakat," *BERDIKARI: Jurnal Inovasi dan Penerapan Ipteks*, vol. 6, no. 2, hlm. 173–183, 2018, doi: 10.18196/bdr.6244.

[20] J. W. Creswell, V. L. Plano Clark, *Designing and Conducting Mixed Methods Research*, edisi ketiga, SAGE Publications, Thousand Oaks, 2018.

[21] Y. A. Sari, Samsurizal, N. Paramita, K. Hayati, A. Syetiawan, "Modeling of solar radiation intensity distribution in Tangerang area using inverse distance weighting algorithm," *International Seminar*, vol. 7, hlm. 676–685, 2025, doi: 10.36563/zbf5me64.

[22] V. Braun, V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology," *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2, hlm. 77–101, 2006, doi: 10.1191/1478088706qp063oa.

[23] B. Marion dkk., "Performance parameters for grid-connected PV systems," *Prosiding 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Lake Buena Vista, 2005, hlm. 1601–1606.

[24] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 19-3983-1995 Spesifikasi Timbulan Sampah untuk Kota Kecil dan Kota Sedang di Indonesia*, BSN, Jakarta,199