

## KAJIAN TEKNIS DAN SPASIAL PEMANFAATAN PEMANAS AIR TENAGA SURYA UNTUK RUMAH TANGGA DI KABUPATEN SIMALUNGUN

Immanuelta Sitepu<sup>1\*</sup>, Darwan Edyanto Saragih<sup>2</sup>, Ebbit Dermawan Purba<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Simalungun

\*Email korespondensi: immanuelstp@yahoo.com

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengkaji kelayakan teknis dan spasial pemanfaatan pemanas air tenaga surya untuk rumah tangga di Kabupaten Simalungun. Kajian dirancang dengan mengintegrasikan analisis kebutuhan energi air panas domestik, kinerja termal kolektor surya, serta kesesuaian spasial wilayah permukiman. Pendekatan teknis dilakukan melalui estimasi energi berguna, efisiensi kolektor, temperatur keluaran air, dan potensi penghematan energi konvensional. Pendekatan spasial dilakukan melalui pembobotan beberapa parameter, yaitu intensitas radiasi surya, suhu lingkungan, ketinggian wilayah, kepadatan permukiman, kemiringan lahan, aksesibilitas, dan karakteristik bangunan rumah tangga. Hasil rancangan kajian menunjukkan bahwa pemanas air tenaga surya berpotensi diterapkan pada rumah tangga Simalungun, terutama pada permukiman dengan paparan surya memadai, orientasi atap yang baik, dan kebutuhan air panas yang relatif stabil. Dari sisi perencanaan wilayah, pemetaan kelas kesesuaian sangat penting untuk menentukan prioritas pengembangan, mengurangi konsumsi energi berbasis listrik atau bahan bakar, serta mendukung pembangunan wilayah yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini merekomendasikan model pengembangan bertahap melalui klaster permukiman prioritas, sosialisasi teknologi, dan integrasi program energi terbarukan ke dalam kebijakan pembangunan daerah.

**Kata Kunci:** Pemanas Air Tenaga Surya, Rumah Tangga, Kajian Teknis, Analisis Spasial, Kabupaten Simalungun

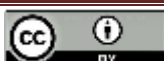
### ABSTRACT

*This study aims to assess the technical and spatial feasibility of solar water heater utilization for households in Simalungun Regency. The study integrates domestic hot water demand analysis, thermal performance of solar collectors, and spatial suitability of residential areas. The technical assessment covers useful energy output, collector efficiency, outlet water temperature, and potential savings in conventional energy use. The spatial assessment applies a weighted overlay of solar radiation, ambient temperature, elevation, settlement density, slope, accessibility, and household building characteristics. The proposed assessment indicates that solar water heaters have promising potential for households in Simalungun, particularly in settlements with sufficient solar exposure, favorable roof orientation, and relatively stable hot water demand. From a regional planning perspective, spatial suitability mapping is essential to identify priority areas, reduce dependence on electricity or fossil fuel-based heating, and support more sustainable territorial development. This study recommends a phased development model through priority residential clusters, technology outreach, and integration of renewable energy programs into local development policy.*

*Keywords:* Solar Water Heater, Household, Technical Assessment, Spatial Analysis, Simalungun Regency

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi rumah tangga di Indonesia menunjukkan kecenderungan meningkat seiring pertumbuhan jumlah penduduk, perubahan gaya hidup, dan berkembangnya perumahan



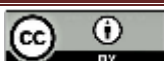
di wilayah urban maupun semi-urban. Pada level rumah tangga, konsumsi energi tidak lagi hanya terkonsentrasi pada penerangan dan memasak, tetapi juga pada pemanfaatan peralatan yang mendukung kenyamanan, kebersihan, dan kesehatan keluarga. Salah satu bentuk kebutuhan tersebut adalah penggunaan air panas untuk mandi, mencuci, kebutuhan sanitasi, serta pada sebagian rumah tangga untuk mendukung usaha kecil berbasis rumah tangga seperti penginapan, laundry, dan jasa kuliner. Kondisi ini membuat kebutuhan energi termal domestik menjadi bagian penting dari diskursus efisiensi energi rumah tangga.

Selama ini penyediaan air panas domestik umumnya mengandalkan energi listrik dan bahan bakar fosil seperti LPG. Pilihan tersebut memang praktis, tetapi dalam jangka panjang menimbulkan dua persoalan. Pertama, biaya operasional rumah tangga cenderung meningkat karena energi yang dipakai bersifat komersial dan harganya rentan berubah. Kedua, penggunaan energi konvensional memperbesar jejak karbon sektor domestik, terutama bila konsumsi dilakukan secara rutin setiap hari. Oleh karena itu, diperlukan alternatif teknologi yang mampu menyediakan layanan air panas secara andal, ekonomis, dan lebih ramah lingkungan. Dalam konteks ini, pemanas air tenaga surya menjadi salah satu opsi yang relevan karena memanfaatkan radiasi matahari yang tersedia secara alami dan berlimpah di wilayah tropis.

Dalam konteks nasional, Indonesia memiliki potensi energi surya yang tinggi dan tersebar pada berbagai wilayah. Sebagai negara tropis yang berada di sekitar garis khatulistiwa, Indonesia menerima radiasi matahari yang relatif stabil sepanjang tahun walaupun tetap dipengaruhi oleh musim, tutupan awan, serta kondisi topografi lokal. Potensi ini memberi peluang besar bagi pengembangan teknologi surya termal pada sektor domestik karena kebutuhan air panas berlangsung setiap hari dan relatif mudah disesuaikan dengan kapasitas rumah tangga. Dibandingkan teknologi pembangkitan listrik surya yang sering menjadi fokus utama, sistem surya termal justru memiliki keunggulan berupa konversi energi yang langsung menuju kebutuhan panas sehingga kerugian transformasi energi dapat ditekan. Artinya, untuk aplikasi air panas rumah tangga, pemanas air tenaga surya merupakan bentuk pemanfaatan energi matahari yang sederhana, matang secara teknologi, dan mudah diaplikasikan.

Kabupaten Simalungun merupakan wilayah yang menarik untuk dikaji karena memiliki karakter geografis dan spasial yang beragam. Wilayah ini mencakup area dataran, perbukitan, kawasan permukiman yang tersebar, serta pusat-pusat kegiatan yang berkembang mengikuti koridor jalan dan pusat pelayanan lokal. Dari perspektif perencanaan wilayah, variasi topografi, sebaran permukiman, kepadatan penduduk, bentuk atap rumah, serta intensitas paparan matahari menyebabkan peluang pemanfaatan pemanas air tenaga surya tidak seragam pada setiap kecamatan atau kawasan hunian. Dengan demikian, studi tentang teknologi ini tidak cukup hanya menilai kinerja termal alat, tetapi juga harus mempertimbangkan di mana teknologi tersebut paling layak diterapkan, kelompok rumah tangga seperti apa yang paling siap mengadopsi, dan bagaimana implikasinya terhadap perencanaan energi wilayah.

Aspek spasial menjadi penting karena keberhasilan penerapan teknologi energi rumah tangga sangat dipengaruhi oleh lokasi. Rumah dengan orientasi atap yang baik, area terbuka yang tidak terhalang vegetasi atau bangunan tinggi, akses konstruksi yang memadai, serta tingkat pendapatan menengah cenderung memiliki peluang adopsi yang lebih tinggi. Sebaliknya, rumah yang berada pada kawasan dengan bayangan topografi kuat, kepadatan bangunan tinggi, atau kualitas struktur atap yang kurang baik memerlukan penyesuaian teknis



atau bahkan tidak direkomendasikan sebagai prioritas awal. Oleh sebab itu, pendekatan spasial dibutuhkan untuk membedakan wilayah sangat sesuai, cukup sesuai, sesuai bersyarat, dan kurang sesuai. Pendekatan ini memberi dasar yang lebih kuat bagi penyusunan strategi intervensi dibandingkan kebijakan yang bersifat seragam pada seluruh wilayah.

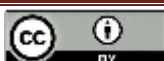
Dari sudut pandang teknik mesin, pemanas air tenaga surya dapat dikaji melalui kemampuan kolektor dalam menyerap radiasi, menaikkan temperatur air, menjaga kestabilan pasokan, dan menghasilkan efisiensi termal yang layak untuk kebutuhan domestik. Namun, kinerja teknis sistem pada situasi lapangan sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti intensitas radiasi harian, suhu lingkungan, kecepatan angin, kualitas insulasi, pola penggunaan air, dan ukuran tangki penyimpanan. Ini berarti bahwa desain sistem yang baik harus memperhatikan hubungan antara kebutuhan energi rumah tangga dengan karakter spasial setempat. Kajian teknis yang berdiri sendiri tanpa konteks lokasi berisiko menghasilkan rekomendasi yang terlalu umum dan sulit diimplementasikan secara nyata pada skala wilayah.

Kajian sebelumnya tentang teknologi surya termal umumnya berfokus pada performa kolektor, optimasi sudut kemiringan, efisiensi energi, atau kajian ekonomi pada bangunan tertentu. Sementara itu, penelitian yang mengintegrasikan penilaian teknis dengan analisis spasial pada skala kabupaten masih relatif terbatas, khususnya untuk aplikasi rumah tangga. Kesenjangan inilah yang menjadikan penelitian ini relevan. Dengan menggabungkan analisis teknis kebutuhan energi air panas dan analisis spasial kesesuaian wilayah, penelitian diharapkan dapat menghasilkan peta prioritas pemanfaatan yang lebih operasional, tidak hanya untuk pengguna rumah tangga tetapi juga untuk pemerintah daerah, perencana, dan pemangku kepentingan sektor energi.

Selain aspek teknis dan spasial, pemanfaatan pemanas air tenaga surya juga berkaitan dengan agenda pembangunan wilayah berkelanjutan. Penggunaan energi matahari untuk kebutuhan domestik dapat mengurangi konsumsi listrik rumah tangga, menekan pengeluaran bulanan, serta memperbaiki kualitas lingkungan melalui pengurangan emisi tidak langsung. Dalam jangka menengah, pengembangan teknologi ini dapat memunculkan rantai ekonomi lokal berupa jasa instalasi, perawatan, penyediaan komponen, dan peningkatan kapasitas teknis masyarakat. Dengan kata lain, teknologi pemanas air tenaga surya tidak hanya dipandang sebagai perangkat rumah tangga, tetapi juga sebagai bagian dari strategi transisi energi dan peningkatan daya saing wilayah.

Konteks Kabupaten Simalungun sendiri memberi dimensi yang khas terhadap kajian ini. Sebagian kawasan permukiman berkembang secara menyebar mengikuti struktur desa dan kecamatan, sementara sebagian lain menunjukkan gejala pemusatan di sekitar pusat pelayanan, koridor perdagangan, dan kawasan wisata. Pola sebaran demikian berpengaruh terhadap bentuk bangunan, kepadatan atap, serta kemudahan distribusi layanan teknis. Rumah tangga di kawasan yang lebih terkonsentrasi cenderung lebih mudah dijangkau dalam program sosialisasi, instalasi, dan perawatan, sedangkan kawasan yang tersebar membutuhkan pendekatan implementasi yang berbeda. Perbedaan ini menegaskan bahwa keputusan penerapan pemanas air tenaga surya tidak dapat dilepaskan dari struktur ruang wilayah.

Di samping itu, karakter iklim mikro antarbagian wilayah Simalungun juga perlu diperhatikan. Variasi elevasi dan tutupan lahan dapat memengaruhi temperatur udara, tingkat kelembapan, serta pola penutupan awan, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap performa sistem surya termal. Pada kawasan yang lebih tinggi, temperatur lingkungan yang lebih rendah



dapat meningkatkan kebutuhan air panas, namun sekaligus menambah potensi rugi panas apabila insulasi sistem tidak memadai. Sebaliknya, pada kawasan yang lebih hangat, kebutuhan kenaikan temperatur mungkin lebih kecil, tetapi kinerja kolektor tetap bergantung pada kontinuitas radiasi harian. Oleh sebab itu, penggabungan analisis teknis dan analisis spasial menjadi semakin penting untuk memperoleh rekomendasi yang sensitif terhadap variasi lokal.

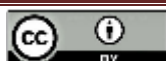
Urgensi penelitian ini juga dapat dibaca dari sudut kebijakan energi daerah. Upaya pengembangan energi baru terbarukan sering kali berhenti pada tataran wacana karena kurangnya contoh penerapan yang spesifik, terukur, dan sesuai karakter wilayah. Kajian mengenai pemanas air tenaga surya untuk rumah tangga dapat menjadi salah satu pintu masuk yang realistis karena teknologinya relatif matang, skalanya fleksibel, dan manfaatnya mudah dirasakan pengguna. Bila hasil kajian menunjukkan wilayah prioritas yang jelas, maka pemerintah daerah dapat menyusun program percontohan yang lebih terarah, misalnya pada perumahan dinas, homestay, kawasan wisata, atau kelompok rumah tangga tertentu. Dengan demikian, penelitian ini memiliki nilai praktis bagi penyusunan agenda transisi energi di level lokal.

Melalui perluasan perspektif tersebut, penelitian ini tidak hanya mengejar jawaban apakah teknologi pemanas air tenaga surya layak secara teknis, tetapi juga bagaimana teknologi itu dapat diintegrasikan ke dalam logika pengembangan wilayah Kabupaten Simalungun. Fokus inilah yang membedakan penelitian dari studi-studi kinerja alat semata dan sekaligus memperkuat kesesuaiannya dengan karakter *Jurnal Regional Planning*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menjawab tiga persoalan utama. Pertama, bagaimana kelayakan teknis pemanfaatan pemanas air tenaga surya untuk kebutuhan rumah tangga di Kabupaten Simalungun ditinjau dari kebutuhan energi air panas, karakter sistem, dan kondisi iklim setempat. Kedua, bagaimana tingkat kesesuaian spasial wilayah berdasarkan kombinasi parameter radiasi surya, topografi, kepadatan permukiman, bukaan lahan, dan aksesibilitas. Ketiga, bagaimana hasil kajian teknis dan spasial tersebut dapat diterjemahkan menjadi arahan pengembangan yang realistis dalam konteks perencanaan wilayah. Sejalan dengan itu, tujuan penelitian ini adalah menganalisis kelayakan teknis dan kesesuaian spasial pemanfaatan pemanas air tenaga surya serta merumuskan arahan pengembangannya untuk rumah tangga di Kabupaten Simalungun

## **LANDASAN TEORI**

Pemanas air tenaga surya adalah sistem konversi energi termal yang memanfaatkan radiasi matahari untuk memanaskan fluida kerja, umumnya air, melalui media kolektor. Dalam sistem rumah tangga, kolektor surya menangkap energi radiasi, kemudian panas ditransfer ke air yang disirkulasikan menuju tangki penyimpanan. Teknologi ini berkembang dalam beberapa konfigurasi, seperti sistem termosifon pasif dan sistem aktif dengan bantuan pompa sirkulasi. Untuk kebutuhan domestik, sistem termosifon banyak dipilih karena konstruksinya relatif sederhana, tidak memerlukan kontrol yang rumit, dan sesuai untuk skala rumah tangga di wilayah tropis (Duffie & Beckman, 2013; Kalogirou, 2014). Prinsip dasar sistem ini bertumpu pada perbedaan densitas air panas dan air dingin, di mana air yang dipanaskan dalam kolektor akan bergerak naik ke tangki penyimpanan secara alami.



Secara umum, komponen utama pemanas air tenaga surya meliputi kolektor, tangki penyimpanan, pipa distribusi, lapisan insulasi, struktur penyangga, serta perlengkapan pengendali dan pengaman. Kolektor merupakan komponen kunci karena pada bagian inilah radiasi diserap dan dikonversi menjadi panas. Jenis kolektor yang banyak digunakan adalah flat plate collector dan evacuated tube collector. Kolektor pelat datar cenderung lebih sederhana, kokoh, dan sesuai untuk iklim tropis dengan kebutuhan temperatur menengah, sedangkan evacuated tube collector umumnya unggul pada kondisi radiasi rendah atau kebutuhan temperatur lebih tinggi (Kalogirou, 2014; Kreith & Goswami, 2007). Untuk aplikasi rumah tangga di wilayah tropis seperti Simalungun, kolektor pelat datar sering dianggap memadai sepanjang dirancang dengan material absorber, kaca penutup, dan insulasi yang sesuai.

Dari sisi termodinamika, kinerja pemanas air tenaga surya dapat dijelaskan melalui neraca energi antara radiasi yang diterima kolektor, panas berguna yang diserap fluida, dan rugi panas ke lingkungan. Panas berguna yang benar-benar dimanfaatkan untuk menaikkan temperatur air dipengaruhi oleh laju aliran massa, kalor jenis air, dan selisih temperatur masuk-keluar. Secara sederhana, panas berguna dirumuskan sebagai

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

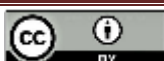
sedangkan efisiensi kolektor dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara panas berguna dengan energi radiasi yang datang pada luas kolektor tertentu, yaitu

$$\eta = Q_u / (A_c \cdot G_t)$$

Meskipun sederhana, dua persamaan ini menegaskan bahwa efisiensi sistem tidak hanya bergantung pada intensitas matahari, tetapi juga pada kualitas desain, pola pemakaian, dan kondisi operasi (Duffie & Beckman, 2013; Goswami, Kreith, & Kreider, 2000).

Kinerja teknis sistem surya termal dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Pertama, intensitas radiasi surya harian menentukan jumlah energi yang tersedia untuk dikonversi. Kedua, suhu lingkungan dan kecepatan angin memengaruhi besarnya rugi panas dari permukaan kolektor dan pipa. Ketiga, sudut kemiringan serta orientasi kolektor menentukan efektivitas penerimaan radiasi selama jam-jam produktif. Keempat, kualitas insulasi tangki dan pipa berpengaruh terhadap kemampuan sistem mempertahankan temperatur air hingga saat digunakan. Kelima, perilaku pengguna rumah tangga, terutama pola pengambilan air panas pada pagi atau malam hari, menentukan kecukupan volume penyimpanan dan kebutuhan energi bantu (Morrison & Budihardjo, 2000; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019). Oleh karena itu, evaluasi kelayakan sistem harus dipahami sebagai interaksi antara variabel teknik, iklim, dan perilaku pengguna.

Dalam literatur energi surya, kelayakan teknis sebuah sistem rumah tangga umumnya dilihat dari kemampuan memenuhi fraksi tertentu kebutuhan beban termal, stabilitas temperatur air panas, dan keekonomian sederhana berdasarkan penghematan energi konvensional. Pada iklim tropis, pemanas air tenaga surya mempunyai peluang tinggi karena temperatur lingkungan relatif hangat sehingga rugi panas tidak setinggi wilayah subtropis. Selain itu, kebutuhan temperatur air panas rumah tangga biasanya tidak terlalu ekstrem, berkisar untuk mandi, sanitasi, dan penggunaan ringan lainnya. Kondisi ini menjadikan sistem surya termal lebih mudah mencapai tingkat utilitas yang baik dengan kapasitas kolektor yang moderat. Namun demikian, variasi awan, musim hujan, dan kebiasaan penggunaan air tetap harus dipertimbangkan agar rekomendasi kapasitas sistem tidak terlalu optimistic (Hossain, Saidur, Fayaz, Rahim, Islam, Ahamed, & Rahman, 2011; Kalogirou, 2014).

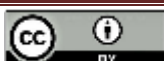


Dalam pendekatan desain sistem, orientasi dan sudut kemiringan kolektor memegang peranan penting terhadap besarnya radiasi efektif yang dapat diterima. Pada wilayah tropis, kolektor pada umumnya diarahkan agar memperoleh penerimaan radiasi optimum sepanjang hari, dengan mempertimbangkan lintang lokasi dan tujuan pemanfaatan tahunan. Akan tetapi, dalam aplikasi rumah tangga, pertimbangan teknis tersebut sering berhadapan dengan kondisi atap eksisting yang tidak selalu ideal. Karena itu, teori desain praktis pemanas air tenaga surya menekankan pentingnya kompromi antara orientasi optimum, keterbatasan struktur bangunan, kemudahan instalasi, dan aspek keselamatan. Bagi penelitian yang memadukan analisis spasial, aspek ini menjadi sangat relevan karena bentuk dan orientasi atap merupakan variabel nyata yang berbeda antarwilayah permukiman (Duffie & Beckman, 2013; Rapoport, 1969). Landasan teori lain yang penting adalah reliabilitas sistem. Suatu teknologi rumah tangga dinilai layak bukan hanya karena efisien secara teoritis, tetapi juga karena mampu bekerja stabil dalam kondisi penggunaan harian. Pada pemanas air tenaga surya, reliabilitas dipengaruhi oleh daya tahan material absorber, kualitas kaca penutup, ketahanan pipa terhadap korosi, performa insulasi, serta kemudahan perawatan. Teori rekayasa sistem menempatkan reliabilitas sebagai bagian dari biaya siklus hidup, sebab gangguan kecil yang berulang dapat mengurangi minat adopsi masyarakat meskipun penghematan energi sebenarnya tinggi. Oleh karena itu, kajian kelayakan perlu memperhatikan kesederhanaan operasi dan kebutuhan pemeliharaan agar rekomendasi yang dihasilkan realistis untuk diterapkan oleh rumah tangga (Kreith & Goswami, 2007; IEA SHC, 2024).

Selain reliabilitas, penerimaan pengguna juga merupakan variabel teoritis yang menentukan keberhasilan teknologi. Dalam ranah energi domestik, keputusan rumah tangga untuk mengadopsi suatu teknologi dipengaruhi oleh persepsi manfaat, kemudahan penggunaan, tingkat kenyamanan, risiko yang dirasakan, dan kemampuan ekonomi. Teknologi yang secara teknis unggul belum tentu diterima apabila dianggap rumit, mahal, atau tidak sesuai dengan kebiasaan penghuni. Karena itu, pada banyak studi pengembangan teknologi energi, analisis teknis perlu dilengkapi dengan pemahaman mengenai karakteristik sosial ekonomi pengguna. Dalam penelitian ini, variabel penerimaan masyarakat diposisikan sebagai salah satu parameter spasial pendukung, sebab tingkat kesiapan sosial sering kali menunjukkan pola yang berbeda antarpermukiman (Rogers, 2003).

Kajian ini juga berpijak pada teori kebutuhan energi domestik. Kebutuhan energi air panas rumah tangga ditentukan oleh jumlah penghuni, volume air yang dipanaskan, temperatur awal air baku, temperatur target, serta frekuensi penggunaan. Rumah tangga dengan jumlah penghuni lebih banyak atau aktivitas sanitasi yang intensif akan membutuhkan sistem dengan kapasitas kolektor dan tangki yang lebih besar. Dalam pendekatan teknik mesin, penentuan ukuran sistem yang sesuai merupakan inti dari desain karena sistem yang terlalu kecil gagal memenuhi kenyamanan, sedangkan sistem yang terlalu besar meningkatkan investasi awal dan memperpanjang periode pengembalian. Oleh sebab itu, analisis kebutuhan beban termal menjadi fondasi sebelum sistem dipetakan secara spasial pada wilayah studi.

Dari perspektif spasial, pemanfaatan teknologi energi tidak dapat dilepaskan dari teori kesesuaian lahan dan diferensiasi wilayah. Setiap ruang memiliki karakteristik biofisik dan sosial ekonomi yang berbeda, sehingga tingkat kesesuaian untuk suatu teknologi juga berbeda. Dalam konteks pemanas air tenaga surya, parameter spasial yang relevan antara lain intensitas paparan matahari, kemiringan lereng, elevasi, kepadatan bangunan, orientasi atap, penutup



lahan, aksesibilitas, dan kedekatan terhadap pusat permukiman. Melalui pendekatan kesesuaian spasial, wilayah studi dapat diklasifikasikan menjadi area prioritas tinggi, menengah, dan rendah. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip perencanaan wilayah yang menempatkan ruang sebagai variabel aktif dalam menentukan keberhasilan suatu program pembangunan (Yunus, 2010; Malczewski, 1999).

Metode yang sering digunakan dalam analisis spasial kesesuaian adalah pemberian skor dan bobot pada setiap parameter lalu menggabungkannya melalui weighted overlay. Pendekatan ini dipilih karena mampu menerjemahkan berbagai variabel yang berbeda satuan menjadi satu indeks komposit yang mudah diinterpretasikan. Dalam penelitian energi wilayah, weighted overlay bermanfaat untuk menilai prioritas pengembangan teknologi berdasarkan kombinasi kondisi fisik dan sosial. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya menghasilkan peta yang komunikatif bagi pengambil keputusan. Meski demikian, pemilihan bobot harus dilakukan secara rasional agar tidak menghasilkan bias interpretasi (Malczewski, 1999). Karena itu, dasar teori dan pertimbangan empiris setiap parameter perlu dijelaskan dengan kuat dalam penelitian.

Dalam teori perencanaan wilayah, penyusunan prioritas lokasi merupakan bagian penting dari efisiensi intervensi. Sumber daya program yang terbatas menuntut pemerintah atau pemangku kepentingan untuk memulai dari ruang-ruang yang memiliki rasio manfaat-terhadap-upaya paling tinggi. Pemetaan kesesuaian untuk pemanas air tenaga surya memungkinkan pendekatan bertahap semacam ini: wilayah yang sangat sesuai dapat dijadikan pilot area, wilayah cukup sesuai dapat dipersiapkan melalui perbaikan desain bangunan dan dukungan insentif, sedangkan wilayah kurang sesuai dapat diarahkan pada teknologi energi lain yang lebih cocok. Dengan demikian, analisis spasial tidak berhenti pada pemetaan deskriptif, tetapi menjadi dasar pengambilan keputusan pembangunan.

Teori pembangunan rendah karbon juga mendukung relevansi penelitian ini. Rumah tangga merupakan sumber permintaan energi yang besar secara agregat, dan substitusi sebagian kebutuhan termal dengan energi surya dapat berkontribusi terhadap pengurangan emisi tidak langsung dari konsumsi listrik maupun bahan bakar. Meskipun kontribusi satu unit rumah tangga terlihat kecil, efek akumulatif pada skala kabupaten dapat menjadi signifikan bila adopsi dilakukan secara bertahap dan terencana. Oleh sebab itu, pemanas air tenaga surya dapat dipahami sebagai bagian dari strategi dekarbonisasi wilayah yang bersifat bottom-up, yakni berangkat dari unit hunian menuju sistem wilayah yang lebih efisien dan berkelanjutan (IEA SHC, 2024; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019).

Landasan teori berikutnya adalah pembangunan wilayah berkelanjutan. Konsep ini menekankan keseimbangan antara efisiensi ekonomi, keadilan sosial, dan kelestarian lingkungan dalam setiap intervensi pembangunan. Pemanas air tenaga surya dapat ditempatkan dalam kerangka tersebut karena teknologi ini berkontribusi terhadap penurunan penggunaan energi berbasis fosil, mendukung efisiensi pengeluaran rumah tangga, dan meningkatkan kualitas hidup melalui penyediaan air panas yang lebih andal. Pada sisi wilayah, adopsi teknologi ini berpotensi memperkuat ketahanan energi lokal, mengurangi tekanan beban listrik pada jam tertentu, dan mendorong terciptanya ekosistem jasa instalasi serta pemeliharaan. Dengan demikian, manfaatnya bukan hanya bersifat individual pada level rumah tangga, tetapi juga memiliki efek sistemik terhadap pembangunan daerah.



Dalam kerangka transisi energi, sektor rumah tangga sering kali dianggap sebagai pengguna akhir yang pasif. Padahal, rumah tangga justru merupakan arena penting untuk mempercepat adopsi teknologi energi bersih karena jumlah unitnya besar dan tersebar luas. Jika rumah tangga menjadi sasaran intervensi yang tepat, maka dampak kumulatifnya terhadap penghematan energi dan pengurangan emisi dapat signifikan. Teori difusi inovasi juga menunjukkan bahwa penerapan teknologi baru cenderung lebih berhasil bila dimulai pada kelompok dan lokasi yang memiliki kesesuaian tinggi, lalu diperluas secara bertahap melalui demonstrasi manfaat. Itulah sebabnya analisis spasial menjadi penting, karena dapat menunjukkan lokasi-lokasi awal yang paling strategis untuk program percontohan dan replikasi (Rogers, 2003).

Berdasarkan uraian teoritis tersebut, penelitian ini memosisikan pemanas air tenaga surya sebagai objek kajian yang berada pada irisan teknik termal, kebutuhan energi domestik, analisis spasial, dan pembangunan wilayah berkelanjutan. Kinerja sistem tidak hanya dinilai dari temperatur air atau efisiensi kolektor, tetapi juga dari kesesuaiannya terhadap karakter ruang permukiman di Kabupaten Simalungun. Dengan fondasi teori ini, penelitian diharapkan mampu menghasilkan sintesis yang lebih komprehensif, yaitu rekomendasi teknologi yang layak secara teknik sekaligus terarah secara spasial.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan penguatan analisis spasial. Lokasi penelitian adalah Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara. Unit analisis terdiri atas rumah tangga dan kawasan permukiman yang secara teknis memungkinkan pemasangan sistem pemanas air tenaga surya. Penelitian dirancang dalam tiga tahap, yaitu pengumpulan data, analisis teknis, dan analisis spasial.

Data yang digunakan meliputi data primer dan sekunder. Data primer direncanakan diperoleh melalui observasi lapangan pada beberapa sampel rumah tangga, identifikasi karakteristik atap bangunan, orientasi bangunan, pola pemakaian air panas, serta wawancara mengenai persepsi pengguna. Data sekunder meliputi peta administrasi, penggunaan lahan, topografi, jaringan jalan, data iklim, publikasi statistik wilayah, dan literatur mengenai sistem pemanas air tenaga surya.

Analisis teknis dilakukan untuk memperkirakan kebutuhan energi air panas domestik dan kemampuan sistem surya dalam memenuhinya. Kebutuhan air panas dihitung berdasarkan jumlah penghuni, frekuensi penggunaan, temperatur air awal, dan temperatur target. Selanjutnya dilakukan simulasi energi berguna, estimasi efisiensi sistem, dan peluang penghematan energi konvensional. Dalam penelitian ini, suhu target air panas rumah tangga dirancang pada kisaran 45-60 derajat Celsius, menyesuaikan kenyamanan pengguna dan batas aman pemakaian domestik.

Analisis spasial dilakukan menggunakan pendekatan weighted overlay pada perangkat Sistem Informasi Geografis. Masing-masing parameter diberi skor dan bobot sesuai tingkat pengaruhnya terhadap penerapan pemanas air tenaga surya. Kelas hasil overlay kemudian dibagi menjadi sangat sesuai, sesuai, cukup sesuai, dan tidak sesuai. Formulasi indeks kesesuaian spasial dirumuskan sebagai berikut:

Pada tahap analisis teknis, rumah tangga sampel dikelompokkan menurut tipologi kebutuhan, misalnya rumah tangga kecil, sedang, dan besar berdasarkan jumlah penghuni dan



intensitas penggunaan air panas. Pengelompokan ini penting agar estimasi kapasitas kolektor dan tangki tidak bersifat seragam. Dengan tipologi tersebut, simulasi dapat menunjukkan berapa luas kolektor yang paling rasional untuk masing-masing kelompok dan pada kondisi apa sistem memerlukan energi bantu. Pendekatan tipologi juga memperkaya pembahasan spasial karena kelas permukiman tertentu mungkin lebih dominan ditempati oleh tipe rumah tangga tertentu.

Selanjutnya, hasil weighted overlay tidak hanya dibaca sebagai peta statis, tetapi juga diinterpretasikan melalui pendekatan prioritas pengembangan. Kelas sangat sesuai diasumsikan sebagai lokasi yang siap untuk intervensi awal dengan hambatan minimal, sedangkan kelas sesuai dan cukup sesuai dipandang sebagai wilayah yang memerlukan penyesuaian desain atau dukungan kebijakan. Dengan pendekatan ini, keluaran penelitian tidak berhenti pada deskripsi akademik, tetapi langsung mengarah pada skenario implementasi yang dapat dipertimbangkan oleh pemerintah daerah, pengembang perumahan, maupun masyarakat.

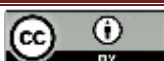
$$IKS = \sum (w_i \times s_i)$$

dengan IKS adalah indeks kesesuaian spasial,  $w_i$  adalah bobot parameter ke- $i$ , dan  $s_i$  adalah skor kelas pada parameter ke- $i$ . Penentuan bobot dilakukan secara rasional berdasarkan tinjauan literatur dan relevansinya terhadap kebutuhan rumah tangga. Untuk memperjelas rancangan analisis, parameter dan pembobotan awal ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Parameter dan Bobot Awal Analisis Kesesuaian Spasial**

No.	Parameter	Bobot (%)	Kriteria Penilaian
1	Intensitas radiasi surya	25	Semakin tinggi radiasi, semakin tinggi skor
2	Kemiringan lahan	10	Lahan datar hingga landai lebih sesuai
3	Ketinggian wilayah dan suhu udara	10	Kondisi termal yang mendukung diberi skor lebih tinggi
4	Kepadatan permukiman	15	Permukiman menengah-padatan terlayani lebih prioritas
5	Aksesibilitas jalan	10	Akses pemasangan dan pemeliharaan lebih mudah
6	Orientasi dan bentuk atap bangunan	20	Atap yang menerima penyinaran optimal diberi skor tinggi
7	Ketersediaan ruang pemasangan dan penerimaan masyarakat	10	Ruang cukup dan penerimaan tinggi lebih sesuai

Untuk memperkuat logika penelitian, hasil analisis teknis dan spasial akan diintegrasikan melalui interpretasi wilayah. Lokasi dengan kelas kesesuaian tinggi tetapi kebutuhan rumah tangga rendah dapat diprioritaskan sebagai pilot project skala terbatas. Sebaliknya, lokasi dengan kebutuhan tinggi namun hambatan spasial besar memerlukan intervensi desain bangunan, skema pembiayaan, atau model teknologi alternatif.



---

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Secara teknis, pemanas air tenaga surya memiliki prospek yang baik untuk rumah tangga karena kebutuhan air panas domestik bersifat rutin, terutama pada pagi dan malam hari. Energi panas yang tersimpan di tangki dapat menjembatani ketidaksesuaian antara waktu penyerapan radiasi dan waktu pemakaian. Dengan konfigurasi sistem yang tepat, kebutuhan air panas rumah tangga dapat dipenuhi tanpa meningkatkan konsumsi energi listrik secara signifikan. Hal ini menjadikan pemanas air tenaga surya lebih relevan dibandingkan sistem pemanas langsung yang seluruhnya bergantung pada energi konvensional.

Penerapan pada Kabupaten Simalungun perlu mempertimbangkan variasi spasial wilayah. Kawasan dengan permukiman yang memiliki atap terbuka, tidak banyak terhalang vegetasi atau bangunan tinggi, dan memiliki akses jalan yang baik cenderung lebih layak sebagai lokasi prioritas. Di sisi lain, kawasan dengan tutupan pohon yang rapat, orientasi atap yang tidak mendukung, atau permukiman yang tersebar jauh dapat mengalami penurunan efektivitas teknis maupun peningkatan biaya pemasangan.

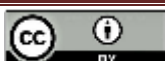
Dalam perspektif spasial, peta kesesuaian berfungsi sebagai alat bantu pengambilan keputusan. Hasil overlay memungkinkan pemerintah daerah atau pemangku kepentingan mengidentifikasi klaster permukiman yang paling siap menerima teknologi. Pada kelas sangat sesuai, pengembangan dapat diarahkan pada rumah tangga menengah, perumahan terencana, homestay, dan bangunan rumah tinggal yang memiliki kebutuhan air panas relatif rutin. Pada kelas sesuai, penerapan masih dapat dilakukan dengan penyesuaian desain. Sementara pada kelas cukup sesuai dan tidak sesuai, strategi yang dibutuhkan cenderung berupa desain khusus, dukungan insentif, atau pemilihan teknologi lain yang lebih tepat.

Dari sisi efisiensi energi wilayah, penggunaan pemanas air tenaga surya berpotensi menurunkan beban listrik rumah tangga terutama pada jam puncak pagi dan malam. Manfaat ini menjadi lebih besar apabila diterapkan pada klaster rumah tangga yang memiliki kebutuhan air panas berulang. Dalam jangka panjang, akumulasi penghematan energi rumah tangga dapat berkontribusi pada pengurangan tekanan terhadap sistem energi regional, sekaligus mendukung agenda transisi energi dan pembangunan rendah karbon.

Kajian ini juga menunjukkan bahwa aspek sosial dan ekonomi tidak dapat dipisahkan dari aspek teknis dan spasial. Kelayakan teknologi bukan hanya ditentukan oleh besarnya radiasi matahari, tetapi juga oleh kemampuan rumah tangga dalam investasi awal, pengetahuan pengguna, ketersediaan teknisi lokal, dan keberlanjutan perawatan sistem. Oleh karena itu, penerapan di Simalungun sebaiknya tidak dilakukan secara seragam, melainkan melalui pendekatan bertahap yang sensitif terhadap karakter permukiman dan daya beli masyarakat.

Sebagai strategi pengembangan wilayah, hasil kajian teknis dan spasial dapat diterjemahkan ke dalam tiga model implementasi. Model pertama adalah klaster prioritas permukiman padat-terlayani yang berdekatan dengan pusat pelayanan dan memiliki akses instalasi baik. Model kedua adalah rumah tangga percontohan pada kawasan wisata atau hunian yang memerlukan citra ramah lingkungan. Model ketiga adalah integrasi program pemanas air tenaga surya dengan inisiatif perumahan, bangunan hijau, atau bantuan energi terbarukan daerah. Ketiga model tersebut akan lebih efektif apabila disertai regulasi insentif, program edukasi masyarakat, dan pelibatan pelaku usaha lokal.

### **Tabel 2. Arah Pengembangan Pemanas Air Tenaga Surya Menurut Kelas Kesesuaian**



Kelas Kesesuaian	Karakter Umum Lokasi	Arahan Pengembangan	Prioritas
Sangat sesuai	Paparan surya tinggi, akses baik, atap mendukung	Pilot project, promosi massal, skema insentif rumah tangga	I
Sesuai	Paparan surya cukup, perlu sedikit penyesuaian desain	Pemasangan bertahap pada klaster permukiman potensial	II
Cukup sesuai	Ada hambatan orientasi atap, akses, atau bayangan	Pendampingan teknis, modifikasi desain, seleksi rumah tangga	III
Tidak sesuai	Paparan rendah atau hambatan ruang tinggi	Tidak diprioritaskan; pertimbangkan teknologi lain	IV

Temuan dari rancangan kajian ini memperlihatkan bahwa pendekatan spasial memberi nilai tambah yang nyata dibanding analisis teknis semata. Dengan mengetahui distribusi kesesuaian lokasi, kebijakan pengembangan menjadi lebih terarah, biaya implementasi dapat ditekan, dan potensi kegagalan adopsi teknologi dapat dikurangi. Dengan demikian, pemanas air tenaga surya tidak hanya dipahami sebagai perangkat rumah tangga, tetapi juga sebagai instrumen pembangunan wilayah yang berbasis energi bersih dan efisiensi ruang.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

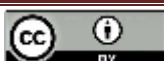
Pemanas air tenaga surya memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada rumah tangga di Kabupaten Simalungun apabila dinilai secara terpadu melalui aspek teknis dan spasial. Dari sisi teknis, sistem ini mampu menyediakan kebutuhan air panas domestik sekaligus menurunkan ketergantungan pada energi konvensional. Dari sisi spasial, tingkat keberhasilan penerapan sangat dipengaruhi oleh radiasi surya, orientasi bangunan, kondisi topografi, kepadatan permukiman, dan aksesibilitas lokasi.

Kajian ini menegaskan bahwa pemetaan kelas kesesuaian merupakan instrumen penting untuk menentukan wilayah prioritas pengembangan. Lokasi yang sangat sesuai dan sesuai perlu diarahkan menjadi target utama implementasi awal, sedangkan lokasi dengan kesesuaian rendah memerlukan pendekatan khusus atau pilihan teknologi alternatif. Dengan strategi tersebut, pemanfaatan pemanas air tenaga surya dapat menjadi bagian dari agenda pembangunan wilayah yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

Disarankan agar penelitian lanjutan melakukan pengukuran lapangan yang lebih rinci terhadap radiasi surya, pola konsumsi air panas rumah tangga, biaya investasi, dan analisis kelayakan ekonomi pada beberapa klaster permukiman di Kabupaten Simalungun. Pemerintah daerah juga disarankan mulai menyiapkan peta jalan pengembangan teknologi energi surya termal rumah tangga yang terintegrasi dengan program perumahan, efisiensi energi, dan pembangunan rendah karbon.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun. (2025). Kabupaten Simalungun Dalam Angka 2025. Simalungun: BPS Kabupaten Simalungun.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 03-6196-2011: Prosedur audit energi pada bangunan gedung. Jakarta: BSN.



- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Goswami, D. Y., Kreith, F., & Kreider, J. F. (2000). *Principles of solar engineering* (2nd ed.). Philadelphia: Taylor & Francis.
- Hossain, M. S., Saidur, R., Fayaz, H., Rahim, N. A., Islam, M. R., Ahamed, J. U., & Rahman, M. M. (2011). Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3801-3812
- IEA SHC. (2024). *Solar Heat Worldwide 2024*. International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme.
- Kalogirou, S. A. (2014). *Solar energy engineering: Processes and systems* (2nd ed.). London: Academic Press.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). *Peluang besar kejar target EBT melalui energi surya*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (tanpa tahun). *Pemanfaatan energi surya di Indonesia*. Jakarta: ESDM.
- Kreith, F., & Goswami, D. Y. (2007). *Handbook of energy efficiency and renewable energy*. Boca Raton: CRC Press.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPTLU untuk Kepentingan Umum*. Jakarta.
- Morrison, G. L., & Budihardjo, I. (2000). Solar water heating in Indonesia: Current status and future prospects. *Renewable Energy*, 19(1-2), 325-332.
- Nasution, A. A., Saragih, J. R., & Harmain, U. (2024). Analisis Spasial Kesesuaian Fungsi Kawasan Daerah Aliran Sungai Bangop Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Tapanuli Tengah (Studi Kasus: Kecamatan Sarudik). *Jurnal Regional Planning*, 6(1), 55-68
- Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
- Sibuea, R. R. H., Harmain, U., & Sidabukke, S. H. (2024). Analisis Spasial Kesesuaian Fungsi Kawasan Daerah Aliran Sungai Tungka Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Tapanuli Tengah. *Jurnal Regional Planning*, 6(1), 36-42.
- Sidabukke, S. H., & Harmain, U. (2024). Analisis Spasial Kesesuaian Fungsi Kawasan Daerah Aliran Sungai Batang Toru Di Kecamatan Tarutung Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Tapanuli Utara. *Jurnal Regional Planning*, 6(1), 23-35
- Siregar, H. I. L., Saragih, J. R., & Purba, T. (2024). Analisis Spasial Kesesuaian Fungsi Kawasan Daerah Aliran Sungai Batang Kuis Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah Deli Serdang (Studi Kasus: Kecamatan Batang Kuis). *Jurnal Regional Planning*, 6(1), 11-22
- Sitanggang, E. F. A., Sihombing, B. H., & Harmain, U. (2024). Analisis Spasial Kesesuaian Fungsi Kawasan Daerah Aliran Sungai Deli Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (Studi Kasus: Kecamatan Medan Maimun). *Jurnal Regional Planning*, 6(1), 43-54.
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi*. Bandung: ITB Press.
- Yunus, H. S. (2010). *Metodologi penelitian wilayah kontemporer*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

