

KOMPONEN-KOMPONEN KUNCI YANG MEMPENGARUHI KEBERLANJUTAN PENGGUNAAN KOMPOR SURYA DI KAWASAN WISATA AGROFORESTRY

Maya Dewi Dyah Maharani^{1*}, Edison Sembiring²

^{1,2}Universitas Sahid, Jakarta, Indonesia

Email Korespondensi: maya@usahid.ac.id

ABSTRAK

Energi pada saat ini mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan petani untuk memproduksi gula aren. Dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil, saat ini telah terjadi pergeseran dari penggunaan sumber Energi Tak Terbarukan menuju sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT). Penggunaan energi melalui energi matahari merupakan alternatif yang potensial dapat diterapkan di beberapa wilayah di Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah menginventarisasi komponen-komponen kunci tolok ukur yang dibutuhkan dalam pemanfaatan kompor dengan energi matahari untuk memproduksi gula aren di kawasan wisata *agroforestry*. Metodologi yang digunakan adalah teknik *Interpretive Structural Modeling (ISM)* yang meliputi tahapan penyusunan hierarki dan klasifikasi sub-elemen. Klasifikasi sub-elemen mengacu pada hasil olahan dari *Reachability Matrix (RM)* yang telah memenuhi aturan transitivitas sehingga didapatkan nilai *Driver-Power* dan nilai *Dependence*. Hasil pengolahan *ISM* menunjukkan bahwa pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya, memiliki daya pendorong yang tertinggi dan rendah ketergantungannya, sehingga sub-elemen tersebut merupakan komponen kunci yang berpengaruh terhadap keberhasilan atau kegagalan dalam pemanfaatan energi surya. Simpulan keberlanjutan komponen kunci yang dibutuhkan dalam pemanfaatan kompor dengan energi surya untuk memproduksi gula aren di kawasan wisata *agroforestry* adalah pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya. Teknologi *fotovoltaik* sel surya bertujuan mengintegrasikan modul surya dengan *BOS* (*Balance of System*) menjadi sistem dalam mendesain pembuatan kompor.

Kata Kunci: *Agroforestry, Arenga_Pinnata, Kompor, Ramah_Lingkungan, Teknologi_Fotovoltaik*

ABSTRACT

Energy currently plays a very important role in the lives of farmers and palm sugar processors. With the increasingly depleting fossil energy sources, there has now been a shift from the use of non-renewable energy sources to new and renewable energy sources (EBT). The use of energy through solar energy is a potential alternative to be implemented in several regions in Indonesia. The aim of this research is to inventory the benchmark key components needed in the use of solar energy stoves to produce palm sugar in agroforestry tourism areas. The methodology used is the Interpretative Structural Modeling (ISM) technique which includes, namely the arrangement of hierarchies and classification of sub-elements. The classification of sub-elements refers to the processed results of the Reachability Matrix (RM) which has fulfilled the transitivity rules so that the Driver-Power value and Dependence value are obtained. The results of ISM processing show that the selection of solar cell photovoltaic technology has the highest driving force and low dependency, so that this sub-element is a key sub-element that influences the success or failure in utilizing solar energy. The conclusion of the sustainability of the key components needed in the utilization of solar energy stoves to produce palm sugar in agroforestry tourism areas is the selection of solar cell photovoltaic technology. Solar cell photovoltaic technology aims to integrate solar modules with BOS (Balance of System) into a system in designing stove manufacturing.

Keywords: *Agroforestry, Arenga_Pinnata, Stove, Environmentally Friendly, Photovoltaic_Technology*

PENDAHULUAN

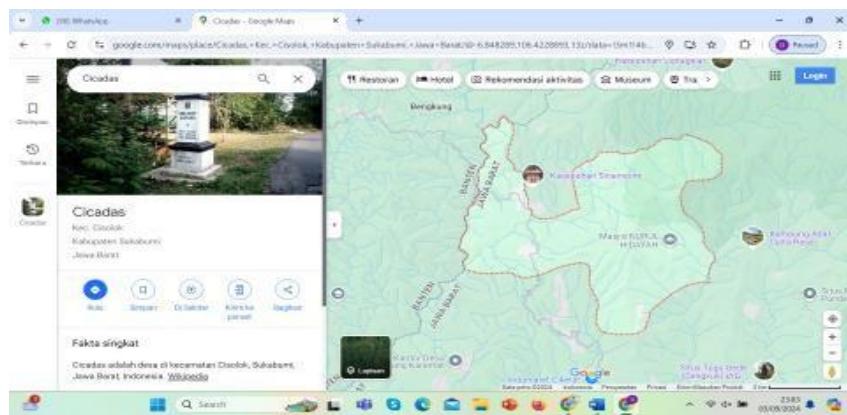
Gula aren merupakan salah satu komoditas agribisnis perkebunan yang dihasilkan dari pohon aren (*Arenga pinnata*) yang dapat dikembangkan di kawasan wisata *agroforestry* Indonesia. Kelompok tani tanaman aren yang mayoritas juga memasak gula aren di kawasan wisata *agroforestry* tersebut selama ini memanfaatkan kayu bakar, sehingga dapat mengancam kelestarian lingkungan. Untuk menjaga kelestarian lingkungan, dan agar mereka tidak menebang tanaman yang berada di kawasan tersebut, diperlukan inovasi teknologi terapan penggunaan kompor tenaga surya kepada kelompok tani tersebut di kawasan wisata *agroforestry* (Abdul Khamid dan Hasyim Asy'ari. 2021; Benedictus Mardwianta. *et. al.* 2021; Fatiatun F *et. al.* 2022; Muhammad Amin *et. al.* 2021; Mohammad Bayu Dwicaksono1 dan Chalilullah Rangkuti. 2017). Hal ini bertujuan agar supaya mereka tidak menebang tanaman yang berada di kawasan tersebut. Tanaman adalah salah satu bahan baku Energi Baru Terbarukan (EBT) berbasis biomassa.

Energi Baru Terbarukan (EBT) pada saat ini mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia, termasuk petani tanaman aren. Dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil di dunia, sekarang ini telah terjadi pergeseran dari penggunaan sumber Energi Tak Terbarukan (ETT) menuju sumber EBT. Dari sekian banyak sumber EBT, penggunaan energi melalui *solar cell* atau sel surya atau energi matahari merupakan alternatif yang potensial dalam menjaga kelestarian lingkungan dan sudah dapat diterapkan di wilayah Indonesia (Ferdyson dan Jaka Windarta. 2023; Ichwan Dwi Wahyu Hermanto *et. al.* 2022; Handoko Bayu dan Jaka Windarta. 2021; Ketut Rizki Fibrina *et. al.* 2019; Nufian S Febriani *et. al.*, 2023).

Terdapat kriteria yang digunakan melalui 3 (tiga) indikator atau tolok ukur kelestarian lingkungan di suatu wilayah, yaitu pemanfaatan sumber daya, konsumsi energi dan emisi karbon, serta ekonomi (biaya siklus hidup) yang digabungkan untuk mendapatkan skor efisiensi lingkungan dari setiap wilayah. Perbandingan dilakukan berdasarkan nilai efisiensi eko suatu wilayah dalam setiap skenario, secara terpisah. Tujuan penelitian ini adalah menginventarisasi komponen-komponen kunci yang dibutuhkan dalam pemanfaatan kompor dengan energi surya untuk memproduksi gula aren di kawasan wisata *agroforestry*.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian pada kawasan wisata *Agro-Forestry* selama 12 (duabelas) bulan pada tahun 2024. Sebagai unit penelitian adalah Kawasan wisata *Agro-Forestry* Cisolok Sukabumi. Kegiatan penelitian dilaksanakan oleh ketua, dan anggota bersama tenaga ahli dari jasa pemasangan surya panel.



Gambar 1. Kawasan Wisata *Agro-Forestry* yang menggunakan Energi Surya atau Matahari

Penelitian pemanfaatan EBT dilakukan di kelompok tani bina karya Mandiri beralamat di Cisolok Kabupaten Sukabumi berjumlah sebanyak 84 orang, namun dalam penelitian ini dipilih sebanyak 20 orang yang bersedia untuk mengetahui lebih banyak tentang pemanfaatan sinar matahari sebagai EBT dalam penggunaan kompor untuk memasak gula aren tersebut.



Gambar 2. Teknologi Terapan Kompor Surya di Kawasan Wisata *Agroforestry*
 Kompor tenaga surya adalah perangkat masak yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Kompor jenis ini tidak menggunakan bahan bakar konvensional dan biaya operasinya rendah, sehingga penggunaannya di lokasi penelitian bahkan di dunia bertujuan untuk mengurangi penggundulan hutan, yang disebabkan oleh penggunaan kayu sebagai bahan bakar untuk keperluan memasak. Kompor surya dapat digunakan di luar rumah, terutama dalam situasi ketika konsumsi bahan bakar minimal atau risiko kebakaran menjadi pertimbangan penting.

Ada berbagai jenis kompor surya. Semuanya menggunakan panas dari cahaya matahari untuk memasak makanan. Beberapa prinsip dasar kompor surya adalah sebagai berikut:

1. Pemusatan cahaya matahari. Beberapa perangkat, biasanya berupa cermin atau sejenis bahan metal/logam yang memantulkan cahaya, digunakan untuk memusatkan cahaya dan panas matahari ke arah area memasak yang kecil, membuat energi lebih terkonsentrasi ke satu titik dan menghasilkan panas yang cukup untuk memasak.

Mengubah cahaya menjadi panas. Bagian dalam kompor surya dan panci, dari bahan apapun asal yang berwarna gelap atau hitam, dapat meningkatkan efektivitas pengubahan cahaya menjadi panas. Panci berwarna hitam dapat menyerap hampir semua cahaya matahari dan mengubahnya menjadi panas, secara mendasar meningkatkan efektivitas kerja kompor surya. Semakin baik kemampuan panci menghantarkan panas, semakin cepat kompak atau oven bekerja.

2. Memerangkap panas. Upaya mengisolasi udara di dalam kompor dari udara di luarnya akan menjadi penting. Penggunaan bahan yang keras dan bening seperti kantong plastik atau tutup panci berbahan kaca memungkinkan cahaya untuk masuk ke dalam panci. Setelah cahaya terserap dan berubah menjadi panas, kantong plastik atau tutup berbahan gelas akan memerangkap panas di dalamnya seperti efek rumah kaca. Hal ini memungkinkan kompor untuk mencapai temperatur yang sama ketika cuaca dingin dan berangin seperti halnya ketika hari cerah dan panas.

Teknik memanaskan suatu barang dengan menggunakan tenaga matahari menjadi kurang efektif jika hanya menggunakan salah satu prinsip tersebut di atas. Pada umumnya kompor surya menggunakan sedikitnya dua cara atau bahkan ketiga prinsip dasar kompor surya untuk menghasilkan temperatur yang cukup untuk memasak.

Analisis yang digunakan

Pembangunan adalah *dynamic change* (perubahan yang dinamis), tidak bisa dilakukan sekaligus, namun bertahap, *for whole society*, serta kondisi terakhir layak dan lebih baik daripada kondisi sebelumnya, termasuk membangun inovasi dan teknologi terapan untuk petani tanaman yang memasak gula aren. Pembangunan yang dimaksud dalam program Pembangunan pemanfaatan EBT surya dengan penggunaan kompor petani pengolah gula aren adalah salah satu kegiatan yang efektif.

Oleh karena itu, analisis dalam penelitian ini dirancang dengan penggunaan *Interpretive Structural Modeling (ISM)*. Metode ini memiliki kemampuan mengidentifikasi batas faktor internal dan eksternal dari program yang dikaji, sehingga menghasilkan *output* keputusan strukturisasi yang lebih baik, serta meringkas hubungan yang saling berkaitan antara perihal khusus dari masalah atau isu. Teknik *ISM* sudah banyak digunakan pada beberapa penelitian untuk mendapatkan elemen kunci, seperti Perancangan Pengolahan Limbah Ampas Kopi Aroma Kahuripan (Manasye Surya Sanjaya, 2025), Identify Key Success Factors Using Interpretive Structural Modeling (ISM) : A Case Study in Small and Medium Enterprise in Indonesia (E Kusrini *et al* , 2019), Aplikasi Interpretive Structural Modeling (ISM) untuk Strategi Pengembangan Wakaf Tunai Di Indonesia (Aam Slamet Rusydiana, 2018), Penerapan Metode Dalam Menyusun Strategi Pengelolaan Sampah (Studi Kasus di Kabupaten Bekasi) (Muhammad Rifaldi *et. al.*, 2021), serta Interpretative Structural Modeling dalam Analisis Kelembagaan Pengendalian Kualitas Air Waduk Sutami (Syadzadhiya Q. Z. Nisa, *et. al.* , 2022).

Selain itu juga digunakan pada analisis penelitian terkait kesehatan lingkungan, seperti Interpretive Structural Modeling: Research Trends, Linkages to Sustainable Development Goals, and Impact of COVID-19 (Aswathy Sreenivasan *et.al.* 2023) dan Penentuan Faktor Kunci Peningkatan Kualitas Air Limbah Industri Makanan Menggunakan Interpretative Structural Modeling (ISM) (Dino Rimantho dan Hera

Rosdiana, 2017).

Teknik ISM merupakan proses pengkajian kelompok (*group learning process*), sehingga mampu memberikan nilai yang berharga bagi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan masa kini maupun masa mendatang (Ashok kumar dan Vikram Singh, 2019; Reza Hamzeh. *et. al.* 2023). Berdasarkan Saxena (1992) program dapat dibagi menjadi sembilan elemen, yaitu: (1) tujuan program; (2) sektor masyarakat yang terpengaruh oleh program, (3) kebutuhan dari program, (4) kendala utama program, (5) perubahan yang dimungkinkan dalam program, (6) tolok ukur, (7) aktivitas yang dibutuhkan guna perencanaan tindakan, (8) ukuran aktivitas guna mengevaluasi hasil yang dicapai oleh setiap aktivitas, dan (9) lembaga yang terlibat.

Merujuk tujuan penelitian adalah menginventarisasi komponen-komponen kunci yang dibutuhkan, *digunakan teknik ISM dengan* elemen tolok ukur. Elemen tolok ukur mempunyai hubungan kontekstual berpengaruh terhadap keberhasilan atau kegagalan dalam pemanfaatan kompor dengan energi surya untuk memproduksi gula aren di kawasan wisata *agroforestry*. Teknik ISM dibagi menjadi dua bagian, yaitu penyusunan hierarki dan klasifikasi sub-elemen. Klasifikasi sub-elemen mengacu pada hasil olahan dari *Reachability Matrix* (RM) yang telah memenuhi aturan transitivitas sehingga didapatkan nilai *Driver-Power* (DP) dan nilai *Dependence* (D).

Tiga hal yang dihasilkan oleh metode ISM meliputi: (1) elemen kunci, (2) struktur hirarki elemen, dan (3) pengelompokan elemen dalam empat sektor klasifikasi. Klasifikasi *independent* memiliki kekuatan penggerak besar, dan kecil ketergantungannya. Klasifikasi *linkage* memiliki hubungan antar peubah yang tidak stabil dan setiap perubahan tindakan dari peubah tersebut akan berdampak terhadap sub-elemen lainnya. Umpulan balik dari pengaruhnya dapat memperbesar dampak, sehingga sub-elemen ini harus dikaji secara hati-hati. Klasifikasi *autonomus*, merupakan sub-elemen yang tidak terkait langsung dengan sistem, memiliki hubungan yang sedikit, tetapi dapat lebih kuat berpengaruh terhadap pencapaian tujuan.

Selanjutnya klasifikasi sub-elemen digolongkan dalam 4 sektor yaitu :

1. Sektor 1; *weak driver-weak dependent variables* (Autonomous) yaitu sub-elemen dengan nilai $DP \leq 0,5 X$ dan nilai $D \leq 0,5 X$ dengan X adalah jumlah sub-elemen. Sub-elemen pada sektor ini pada umumnya tidak berkaitan dengan sistem, dan mungkin memiliki sedikit hubungan meskipun bisa saja hubungan tersebut kuat.
2. Sektor 2; *weak driver-strongly dependent variables* (Dependent) yaitu sub-elemen dengan nilai $DP \leq 0,5 X$ dan nilai $D > 0,5 X$. Sub-elemen pada sektor ini adalah subelemen tidak bebas.
3. Sektor 3; *strong driver-strongly dependent variables* (Linkage) yaitu sub-elemen dengan nilai $DP > 0,5 X$ dan nilai $D > 0,5 X$. Sub-elemen pada sektor ini harus dikaji secara hati-hati karena hubungan antara subelemen tidak stabil. Setiap tindakan pada subelemen akan memberikan dampak terhadap subelemen lainnya dan pengaruh umpan baliknya dapat memperbesar dampak
4. Sektor 4; *strong driver-weak dependent variables* (Independent) yaitu sub-elemen dengan nilai $DP > 0,5 X$ dan nilai $D \leq 0,5 X$. Sub-elemen pada sektor ini merupakan bagian sisa dari sistem dan disebut peubah bebas.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tujuan analisis *Interpretative Struktural Modeling (ISM)*

Output analisis ISM dapat menyediakan keadaan yang sangat baik untuk

memperoleh keragaman dan sudut pandang berbeda yang sangat kompleks. Elemen - elemen sistem disajikan dalam sebuah gambaran grafikal dari setiap hubungan dan tingkat hirarkinya memungkinkan identifikasi hubungan antara gagasan/ide dan struktur penentu dalam masalah yang kompleks tersebut. Berdasarkan konsepsi tersebut, dapat dikaji elemen tolok ukur sebagai berikut.

Elemen tolok ukur untuk menilai keberhasilan atau kegagalan

Elemen tolok ukur untuk menilai setiap tujuan terdiri atas sepuluh sub- elemen, yaitu: (1) pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya (T_1), (2) peningkatan produksi sel surya (T_2), (3) peningkatan efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengolahan gula aren (T_3), (4) inovasi dan teknologi terapan (T_4), (5) produk gula aren ramah lingkungan (T_5), kesadaran konsumen akan produk ramah lingkungan (T_6), (7) efisiensi jumlah penggunaan energi (T_7), (8) peningkatan rasio elektrifikasi (T_8) (8) kesadaran petani menjaga lingkungan (T_9), dan (10) integrasi modul surya dengan *BOS (Balance of System)* menjadi sistem dalam kompor (T_{10}). Sub-elemen tersebut diidentifikasi hubungan keterkaitannya melalui *survey* pendapat pakar dengan metode ISM. Hubungan kontekstual antar sub-elemen tolok ukur untuk menilai keberhasilan atau kegagalan dinyatakan dengan simbol *V*, *A*, *X* dan *O*, membentuk sebuah matriks persepsi responden dari sub-elemen sampai hubungan langsung antar sub-elemennya disebut *structural self interaction matrix (SSIM)* terlihat pada Tabel 1. Hubungan kontekstual sub elemen tolok ukur tersebut berpengaruh terhadap pemanfaatan EBT surya dengan penggunaan kompor petani pengolah gula aren yang efektif..

Tabel 1 Hasil agregasi tujuh pakar hubungan kontekstual antar sub-elemen tolok ukur untuk menilai keberhasilan atau kegagalan penggunaan kompor petani pengolah gula aren yang efektif

| No | T_1 | T_2 | T_3 | T_4 | T_5 | T_6 | T_7 | T_8 | T_9 | T_{10} | T_1 | T_2 |
|----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|
| T_1 | | <i>V</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>X</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | | <i>A</i> |
| T_2 | | | <i>A</i> | | <i>A</i> |
| T_3 | | | | <i>V</i> | | <i>V</i> |
| T_4 | | | | | <i>V</i> | <i>V</i> | <i>V</i> | <i>V</i> | <i>V</i> | <i>A</i> | | <i>A</i> |
| T_5 | | | | | | <i>X</i> | <i>X</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | | <i>A</i> |
| T_6 | | | | | | | <i>X</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | | <i>A</i> |
| T_7 | | | | | | | | | <i>A</i> | <i>A</i> | | <i>A</i> |
| T_8 | | | | | | | | | | | | |
| T_9 | | | | | | | | | | | | |
| T_{10} | | | | | | | | | | | | |

Sumber: Data diolah

SSIM tersebut dikonversi dalam matrik biner 1 dan 0 menjadi matrik pencapaian awal (*initial reachability matrix*) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil agregasi tujuh pakar pengolahan ISM VAXO *reachability* sub elemen tolok ukur untuk menilai keberhasilan atau kegagalan penggunaan kompor petani pengolah gula aren yang efektif

| No | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ | T ₆ | T ₇ | T ₈ | T ₉ | T ₁₀ | T ₁₁ | T ₁₂ | T ₁₃ |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| T ₁ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| T ₂ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T ₃ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| T ₄ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T ₅ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T ₆ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T ₇ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T ₈ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T ₉ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| T ₁₀ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| T ₁₁ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| T ₁₂ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| T ₁₃ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Sumber: Data diolah

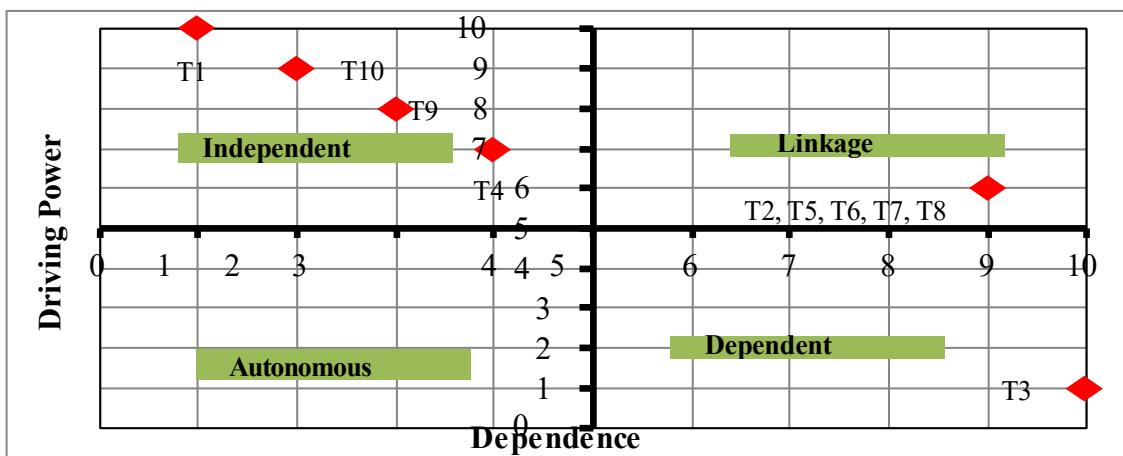
Dalam metode ISM tahap lanjutannya dilakukan revisi terhadap SSIM dengan kaidah transitivity hingga dihasilkan matrik pencapaian akhir (*final reachability matrix*) yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dari *final reachability matrix* dapat ditentukan tingkat *dependency* (ketergantungan) dan *driver power* (daya pendorong) elemen tolok ukur. Konsistensi pendapat pakar sebesar 93 persen (> 80 persen), artinya penilaian pakar dapat diterima.

Tabel 3. Hasil agregasi tujuh pakar *reachability* matriks final dari elemen tolok ukur

| No | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ | T ₆ | T ₇ | T ₈ | T ₉ | T ₁₀ | T ₁₁ | T ₁₂ | Drv |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| T ₁ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| T ₂ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| T ₃ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| T ₄ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| T ₅ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| T ₆ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| T ₇ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| T ₈ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| T ₉ | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| T ₁₀ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| T ₁₁ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| Dep | 9 | 10 | 1 | 4 | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 2 | | | |

Sesuai dengan hubungan kontekstual pada elemen ini, hasil pengolahan ISM pada Tabel

3 menunjukkan bahwa pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya (T₁), memiliki daya pendorong yang tertinggi dan rendah ketergantungannya, sehingga sub -elemen tersebut merupakan sub-elemen kunci dari elemen tolok ukur yang berpengaruh terhadap keberhasilan atau kegagalan penggunaan kompor. Saat ini terdapat banyak teknologi *fotovoltaik* pembuatan sel surya.



Gambar 3. Hubungan Driver power–Dependence pada elemen tolok ukur

Keterangan Gambar 3:

- T1: Pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya
- T2: Peningkatan produksi sel surya
- T3: Peningkatan efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengolahan gula aren
- T4: Inovasi dan teknologi terapan
- T5: Produk gula aren ramah lingkungan
- T6: Kesadaran konsumen terhadap produk ramah lingkungan
- T7: Efisiensi jumlah penggunaan energi
- T8: Peningkatan rasio elektrifikasi
- T9: Kesadaran petani menjaga lingkungan
- T10: Integrasi modul surya dengan *BOS (Balance of System)* menjadi sistem dalam kompor

Sel surya konvensional yang sudah komersil saat ini menggunakan teknologi *wafer silikon kristalin* yang proses produksinya cukup kompleks dan mahal. Pembuatan sel surya konvensional diawali dengan proses pemurnian silika untuk menghasilkan silika *solar grade (ingot)*, pemotongan silika menjadi *wafer silika*, penyusunan modul surya, serta integrasi modul surya dengan *BOS (Balance of System)* sistem pada pembuatan kompor. BOS adalah komponen pendukung yang digunakan, yaitu *inverter, batere, sistem kontrol*.

Berdasarkan analisis klasifikasinya, sub elemen tolok ukur terpapar pada Gambar 3 menunjukkan bahwa, pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya (T₁), integrasi modul surya dengan *BOS (Balance of System)* menjadi sistem dalam kompor (T₁₀), kesadaran petani menjaga lingkungan (T₉), dan inovasi dan teknologi terapan (T₄), termasuk pada sektor *independent*, yaitu memiliki kekuatan penggerak besar, dan kecil ketergantungannya. Untuk dapat menghasilkan energi listrik yang maksimum dari sistem fotovoltaik maka permukaan modul surya harus selalu menghadap ke matahari. Sebagai contoh jika tingkat konsumsi listrik rata-rata tercatat sebesar 64 kWh/tahun atau setara dengan 175 Wh/hari, maka modul surya atau sistem fotovoltaik dengan kapasitas 50 Wp memberikan output energi listrik sebesar 200 Wh/hari, sehingga modul surya dengan kapasitas tersebut mampu memenuhi kebutuhan konsumsi listrik dan berpotensi menjadi sumber energi alternatif.

Penggunaan sistem fotovoltaik untuk mensuplai beban belum cukup efisien, ketika menggunakan radiasi terendah dalam sistem fotovoltaik (modul surya), sehingga masih tersisa energi yang dapat dimanfaatkan untuk beban lain. Efisiensi pembangkit

listrik yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik yang digunakan masyarakat adalah berada pada skala (14 -15)%, sehingga secara umum, sistem fotovoltaik yang digunakan oleh masyarakat umum memiliki kapasitas 50 Watt- peak (Wp), dengan Wp merupakan satuan daya sistem fotovoltaik (Lubna *et. al.* 2021; Ryan Effendi. 2023). Pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya berkaitan dengan perangkat panel surya (*solar panel*), merupakan salah satu teknologi penghasil listrik yang sangat populer belakangan ini. Terdapat jenis-jenis panel surya yang bisa didapatkan di pasaran, hal ini disebabkan karena jenis-jenis *solar panel* memiliki beberapa dengan kelebihan dan kekurangannya sebagai berikut:

1. *Monocrystalline Silicon*

Jenis panel surya *monocrystalline silicon* ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan karena kelebihan yang dimilikinya. Sel surya ini terbuat dari silikon yang diiris tipis -tipis dengan menggunakan mesin. Irisan bisa menjadi lebih tipis dan juga karakteristiknya identik karena penggunaan mesin potong ini. Untuk kelebihannya, jenis sel surya satu ini ini bisa disebut sebagai salah satu sel surya yang paling efisien digunakan. Hal ini disebabkan karena penampangnya dapat menyerap cahaya matahari dengan lebih efisien dibandingkan dengan bahan sel surya yang lainnya.

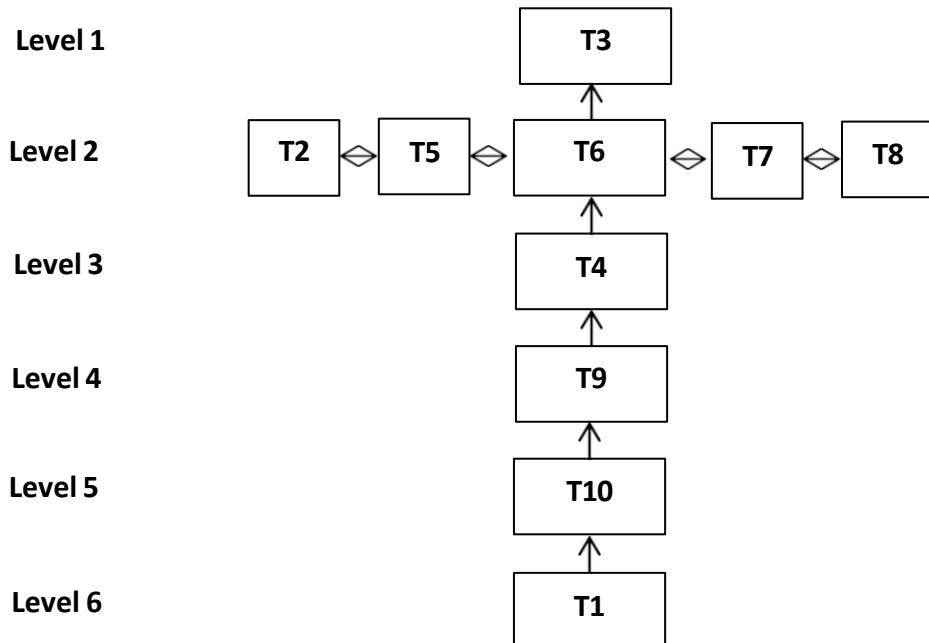
Efisiensi konversi cahaya matahari menjadi listrik yang dimiliki oleh bahan sel surya ini adalah sekitar 15%. Jumlah ini merupakan salah satu jumlah yang cukup besar jika dibandingkan dengan bahan penyusun sel surya yang lain meski dengan ukuran penampang yang sama. Panel surya yang satu ini juga menjadi salah satu yang paling banyak digunakan karena paling cocok untuk kebutuhan sehari-hari menggunakan berbagai peralatan listrik termasuk Pompa *Submersible*. Jenis *solar panel* ini akan membutuhkan cahaya yang sangat terang ketika beroperasi. Ia akan mengalami pengurangan efisiensi jika berada pada cuaca yang berawan dan mendung. Untuk ciri-ciri panel surya *monocrystalline silicon* ini memiliki warna hitam dan juga bentuk yang tipis seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

2. *Polycrystalline Silikon*

Jenis *solar panel polycrystalline silicon* ini merupakan teknologi panel yang terbuat dari batang silikon yang kemudian dicairkan. Teknologi panel ini memiliki kelebihan dari segi susunannya yang lebih rapi dan lebih rapat. Untuk cirinya, biasanya *solar panel* ini memiliki penampilan yang unik karena terkesan seperti ada retakan-retakan di dalam sel surya yang dimilikinya. Teknologi panel surya ini juga memiliki kekurangan yang cukup mirip dengan *monocrystalline silicon* yang telah disebutkan sebelumnya. Panel surya *polycrystalline* memiliki kekurangan ketika digunakan pada daerah yang rawan dan sering mendung. Ketika diletakkan atau digunakan pada area seperti ini, maka efisiensi yang dimilikinya akan turun. Jika dibandingkan dengan efisiensi *monocrystalline*, *polikristalin silikon* ini memiliki efisiensi yang lebih rendah. Oleh karena itu untuk menghasilkan tenaga listrik dengan jumlah yang sama, jenis panel tenaga surya yang satu ini akan diperlukan penampang yang lebih besar.

Tolok ukur peningkatan produksi sel surya (T₂), produk gula aren ramah lingkungan (T₅), kesadaran konsumen pada produk ramah lingkungan (T₆), efisiensi jumlah penggunaan energi (T₇), serta peningkatan rasio elektrifikasi (T₈), termasuk dalam sektor *linkage*. Ke lima tolok ukur tersebut perlu mendapat perhatian, karena merupakan tolok ukur yang tidak stabil, sehingga setiap tindakan pada tolok ukur tersebut akan memberikan dampak pada tolok ukur lainnya, dan pengaruh umpan

baliknya dapat memperbesar dampak terhadap tolok ukur lainnya. Sedangkan peningkatan efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengolahan gula aren (T_3) termasuk pada sektor *dependent*, merupakan akibat dari tindakan yang dilakukan pada tolok ukur sektor *linkage* dan *dependent*.



Gambar 4 Diagram model struktur hirarki sub elemen tolok ukur

Keterangan Gambar 4:

- T1: Pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya
- T2: Peningkatan produksi sel surya
- T3: Peningkatan efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengolahan gula aren
- T4: Inovasi dan teknologi terapan
- T5: Produk gula aren ramah lingkungan
- T6: Kesadaran konsumen pada produk ramah lingkungan
- T7: Efisiensi jumlah penggunaan energi
- T8: Peningkatan rasio elektrifikasi
- T9: Kesadaran petani menjaga lingkungan
- T10: Integrasi modul surya dengan *BOS (Balance of System)* menjadi sistem dalam kompor

Tingkat hirarki dan hubungan pengaruhnya seperti terpapar pada Gambar 4 menunjukkan bahwa, sebagai tolok ukur kunci adalah pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya (T_1). Tolok ukur tersebut berpengaruh terhadap terciptanya integrasi modul surya dengan *BOS (Balance of System)* menjadi sistem dalam kompor (T_{10}). Hal ini akan berpengaruh terhadap potensi inovasi dan teknologi terapan (T_4). Capaian tolok ukur-tolok ukur tersebut, berpengaruh terhadap ukur peningkatan produksi sel surya (T_2), produk gula aren ramah lingkungan (T_5), kesadaran konsumen pada produk ramah lingkungan (T_6), efisiensi jumlah penggunaan energi (T_7), serta peningkatan rasio elektrifikasi (T_8). Selanjutnya tolok ukur-tolok ukur tersebut pada akhirnya akan mempengaruhi terhadap peningkatan efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam proses

pengolahan gula aren.

KESIMPULAN

Komponen kunci yang dibutuhkan dalam pemanfaatan kompor energi surya untuk memproduksi gula aren di kawasan wisata *agroforestry* adalah pemilihan teknologi *fotovoltaik* sel surya. Teknologi *fotovoltaik* sel surya bertujuan untuk mengintegrasikan modul surya dengan *BOS (Balance of System)* menjadi sistem dalam desain pembuatan kompor. Komponen kunci tersebut secara perlahan dan bertahap akan mampu meningkatkan kesadaran petani dalam menjaga lingkungan, serta meningkatkan motivasi untuk menciptakan inovasi dan teknologi terapan yang ramah lingkungan. Komponen kunci potensial lainnya adalah integrasi modul surya dengan *BOS (Balance of System)* menjadi sistem dalam kompor, kesadaran petani menjaga lingkungan, dan inovasi dan teknologi terapan, ke 3 (tiga) komponen tersebut mempunyai daya dorong tinggi dan ketergantungan rendah dalam mencapai keberhasilan atau kegagalan penggunaan kompor surya.

Komponen kunci tersebut merupakan indikator atau tolok ukur kelestarian lingkungan di suatu wilayah, karena berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya, konsumsi energi dan emisi karbon, serta ekonomi (biaya siklus hidup) yang digabungkan untuk mendapatkan skor efisiensi lingkungan dari setiap wilayah, termasuk kawasan wisata *agroforestry*.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Khamid, Hasyim Asy'ari. (2021). Desain Kompor Listrik Tenaga Surya Untuk Batik Tulis Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal ELKON*, Vol. 01 No. 01, 35-38

Benedictus Mardwianta, Abdul Haris Subarjo, Rivaldi Dwi Cahyadi. (2021). Studi Ekperimental Penambahan Reflektor Datar Pada Kompor Tenaga Surya Tipe Parabolic. *Jurnal Surya Energy*, Vol. 06(01), 31-40

Fatiatun F, Anisa V Samputri, Arina M Fanguna, Ferra D Prasetyaningrum, Nurul H. (2022). Kompor Listrik Tenaga Surya Sebagai Penunjang Kebutuhan Rumah Tangga. *Journal of Physics and Science Learning*, Vol. (06), 118-122.

Muhammad Amin, Syamsul Bahri, Muhammad Zulfri, Fazri Amir, Zainal Arif. (2021). Pemanfaatan Kompor Surya Bagi Masyarakat Pesisir Dalam Upaya Melestarikan Energi Terbarukan. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, Vol. 5(06), 3634 -3645

Mohammad Bayu Dwicaksono1, Chalilullah Rangkuti. (2017). Perancangan, Pembuatan, Dan Pengujian Kompor Energi Matahari Portabel Tipe Parabola Kipas. Seminar Nasional Cendekiawan ke 3 Tahun 2017 Buku 3

Ferdyson, Jaka Windarta. (2023). Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, Vol. 4 (01), 2 – 6

Ichwan Dwi Wahyu Hermanto, Unit Three Kartini, Bambang Suprianto, Endryansyah.(2022). Sistem Monitoring dan Pengukuran Pembangkit Listrik Surya dan Angin Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknik Elektro*. Volume 11 (03), 371 -378

Handoko Bayu, Jaka Windarta. (2021). Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di Indonesia. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, Vol. 2 (03), 123 – 132

Ketut Rizki Fibrina, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma, I Wayan Bandem Adnyana. (2019). Pengujian Kinerja Panel Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya di PT Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Bali. *Jurnal METTEK* Vol. 5(02), 105 -109

Nufian S Febriani, Fitria Avicenna, Pratisara Bumi. (2023), Kampanye Pemasaran Sosial Penggunaan Energi Surya Menghadapi Perubahan Iklim di Indonesia. *Jurnal Pelayanan dan Pengabdian Masyarakat (PAMAS)*, Vol. 7(0), 88-100

Manasye Surya Sanjaya. (2025). Perancangan Pengolahan Limbah Ampas Kopi Aroma 2 Kahuripan. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*. Vol. 2(02), 38-5

E Kusrini, W Safitri, V N Helia. (2019). A Case Study in Small and Medium Enterprise in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 697 012015

Aam Slamet Rusydiana. (2018). Aplikasi Interpretive Structural Modeling (ISM) untuk Strategi Pengembangan Wakaf Tunai Di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Islam*, Vol. 4(01), 1-17

Syadzadhiya Q. Z. Nisa, P. S. Ardisty Sitogasa, Kabul Fadila1 dan Syahrul Munir. (2022). Interpretative Structural Modeling dalam Analisis Kelembagaan Pengendalian Kualitas Air Waduk Sutami. *Jurnal Enviscience*, Vol. 6(1), 45-54

Muhammad Rifaldi, Bagus Sumargo dan Muhammad Zid. (2021). Penerapan Metode Interpretive Structural Modeling (ISM) Dalam Menyusun Strategi Pengelolaan Sampah (Studi Kasus di Kabupaten Bekasi). *Esec Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur*, Vol. 02(01), 1-7

Aswathy Sreenivasan, Suresh Ma, Prema Nedungadi, V. Raja Sreedharan and R. Raghu Raman. (2023). Interpretive Structural Modeling: Research Trends, Linkages to Sustainable Development Goals, and Impact of COVID-19. *Sustainability*, 15, 4195.

Dino Rimantho dan Hera Rosdiana. (2017). Penentuan Faktor Kunci Peningkatan Kualitas Air Limbah Industri Makanan Menggunakan Interpretative Structural Modeling (ISM). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol. 15(02), 90-95

Ashok kumar dan Vikram Singh. (2019). OVERVIEW OF INTERPRETIVE STRUCTURAL MODELING. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, Vol. 4(05), 536-540

Reza Hamzeh shalamzari dan Fatemeh dodangeh. (2023). Interpretive structural modelling (ISM) an overview. *3th International Conference on Advanced Researches and Management*

Lubna; Sudarti; Yushardi, (2021). POTENSI ENERGI SURYA FOTOVOLTAIK SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF. *Pelita : Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah*, Vol. 21(01), 76-79.

Ryan Effendi. (2023). Analisis Penggunaan Energi Surya Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif. *JUTIN: Jurnal Teknik Industri*, Vol. 06(04), 11298 - 111302.