

Evaluasi Kapabilitas Industri Fotovoltaik Nasional Berbasis Kontribusi Teknologi

¹Nurul Atikah, ²Fatimah Insani Harahap, ³Titi Hayati

^{1,2,3}Universitas Sumatera Utara; Jalan Almamater Kampus USU, (061) 8211633
e-mail: ¹nurulatikah@usu.ac.id, ²fatimahinsani@usu.ac.id, ³titihayati@usu.ac.id

Abstrak

Pemetaan kemampuan teknologi industri fotovoltaik (PV) dan sektor pendukungnya di Indonesia untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya yang potensinya mencapai 207,8 GWp, sementara target pemanfaatannya baru 0,87 GW pada tahun 2025. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis tingkat kesiapan teknologi melalui model Teknometrik yang berfokus pada komponen technoware (T), humanware (H), dan infoware (I). Menggunakan metodologi survei kuantitatif dengan sampel perusahaan panel surya, kabel, dan struktur (mounting), penelitian ini mengukur Koefisien Kontribusi Teknologi (TCC) sebagai hipotesis untuk menilai kapabilitas industri. Hasil utama menunjukkan industri panel surya dan struktur memiliki kapabilitas "sangat baik" dengan TCC masing-masing 0,7204 dan 0,7297, didorong oleh kontribusi H dan I yang kuat. Sebaliknya, perusahaan kabel berkategori "baik" dengan TCC 0,5651, yang mengindikasikan perlunya peningkatan pada komponen technoware. Sebagai kesimpulan, direkomendasikan adanya prioritas pengembangan technoware melalui komputasi desain produk, peningkatan humanware melalui pelatihan inovasi, serta penguatan infoware melalui diseminasi informasi. Hasil penelitian ini krusial untuk meningkatkan daya saing industri PV domestik dan mengakselerasi pencapaian target bauran energi nasional..

Kata Kunci : Kemampuan Industri, Kontribusi Teknologi, Fotovoltaik

Abstract

Mapping the technological capabilities of the photovoltaic (PV) industry and its supporting sectors in Indonesia to optimize the utilization of solar energy whose potential reaches 207.8 GWp, while the utilization target is only 0.87 GW by 2025. The purpose of this study is to analyze the level of technological readiness through a Technometric model that focuses on the components of technoware (T), humanware (H), and infoware (I). Using a quantitative survey methodology with a sample of solar panel, cable, and mounting companies, this study measured the Technology Contribution Coefficient (TCC) as a hypothesis to assess industry capability. The main results show that the solar panel and structure industries have "excellent" capabilities with TCCs of 0.7204 and 0.7297, respectively, driven by strong H and I contributions. In contrast, cable companies are categorized as "good" with a TCC of 0.5651, indicating the need for improvement in the technoware component. In conclusion, it is recommended to prioritize technoware development through product design computing, humanware improvement through innovation training, and infoware strengthening through information dissemination. The results of this research are crucial for improving the competitiveness of the domestic PV industry and accelerating the achievement of the national energy mix target.

Keywords : Industrial Capability, Technology Contribution, Photovoltaics

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara yang berada di garis khatulistiwa, memiliki potensi energi surya yang sangat besar, diperkirakan mencapai 207,8 GWp dengan rerata iradiasi harian sebesar 4,8 kWh/m² [1]. Potensi fantastis ini, jika dioptimalkan, dapat memenuhi sebagian besar kebutuhan energi nasional dan mendukung visi pemerintah untuk masa depan energi berkelanjutan [2]. Berbagai isu menjadi tantangan dalam akselerasi pemanfaatan energi surya. Selain masalah intermitensi produksi energi yang membutuhkan pengembangan teknologi penyimpanan [3], tantangan utama berasal dari sisi kesiapan industri dalam negeri.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menggarisbawahi berbagai tantangan ini. Studi oleh Nugroho dan Muhyiddin [4] melaporkan bahwa meskipun ada peningkatan pemanfaatan energi terbarukan, daya saing industri domestik masih menjadi kendala utama, terutama karena belum tersedianya industri hulu modul surya. Penelitian lain juga menyoroti pentingnya kapasitas terpasang sebagai indikator kinerja kunci dalam pengembangan infrastruktur energi [5]. Meskipun berbagai studi telah membahas kebijakan dan potensi, belum ada pemetaan komprehensif mengenai kapabilitas teknologi manufaktur industri panel surya dan sektor pendukungnya di Indonesia. Landasan teori penelitian ini berpijak pada konsep bahwa kapasitas terpasang sebuah pembangkit merepresentasikan kemampuan teknis untuk menghasilkan *output* secara konsisten, yang menjadi indikator kunci performa infrastruktur energi.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis secara mendalam potensi dan tantangan pengembangan industri panel surya di Indonesia, serta merumuskan strategi untuk mengakselerasi adopsi energi surya. Studi ini akan melakukan evaluasi komprehensif mulai dari pengadaan bahan baku, proses manufaktur, hingga instalasi sistem, serta menganalisis dampak kebijakan pemerintah terhadap pertumbuhan industri. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan daya saing industri panel surya nasional, mendukung pencapaian target energi terbarukan, dan mewujudkan masa depan energi yang lebih bersih dan berkelanjutan bagi seluruh masyarakat Indonesia.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dirancang untuk mengukur dan menganalisis tingkat kesiapan teknologi di industri panel surya dan perusahaan pendukungnya di Indonesia dengan pendekatan kuantitatif. Fokus utama penelitian adalah pada tiga komponen krusial dalam proses produksi dan instalasi sistem fotovoltaik, yaitu *technoware* (T), *humanware* (H), dan *infoware* (I). Objek penelitian mencakup perusahaan yang bergerak dalam produksi panel surya serta perusahaan pendukung yang menyediakan komponen vital seperti kabel dan struktur pemasangan (*mounting*). Penentuan sampel penelitian menggunakan metode purposive sampling yang didasarkan pada prinsip aksesibilitas dan kesiapan perusahaan untuk berpartisipasi, mengingat adanya keterbatasan selama pandemi. Dengan demikian, sampel difokuskan pada perusahaan yang aktif merespons dan memberikan dukungan material dalam instalasi panel surya untuk memastikan relevansi dan kedalaman data yang dikumpulkan.

Pengumpulan data dilakukan melalui survei dengan menggunakan dua jenis kuesioner utama yang dirancang untuk mengukur aspek-aspek berbeda dari kesiapan teknologi perusahaan. Kuesioner pertama berfokus pada pengukuran tingkat kecanggihan (*sophistication*) komponen *technoware*, *humanware*, dan *infoware* dengan menggunakan skala yang memungkinkan penentuan batas bawah dan batas atas tingkat kecanggihan yang dimiliki perusahaan pada setiap komponen teknologi, yang kemudian digunakan untuk memosisikannya relatif terhadap kondisi *state-of-the-art* industri. Kuesioner kedua dirancang untuk mengukur kondisi *state-of-the-art* itu sendiri berdasarkan kerangka kerja yang mencakup pembobotan berbagai komponen teknologi, sehingga memungkinkan identifikasi celah dan peluang untuk perbaikan teknologi.

Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi masalah, yaitu belum terpetakannya kapabilitas manufaktur industri panel surya dan pendukungnya. Setelah data terkumpul, dilakukan pengolahan dan analisis menggunakan perangkat lunak statistik yang relevan. Analisis inti dalam penelitian ini adalah perhitungan Koefisien Kontribusi Teknologi (TCC), yang menunjukkan skala kontribusi teknologi dalam penciptaan nilai tambah industri. Perhitungan TCC dilakukan dengan menentukan nilai kontribusi setiap komponen (T, H, I) yang dinormalisasi terhadap kondisi *state-of-the-art*. Selanjutnya, intensitas kontribusi setiap komponen dibobot (β) menggunakan metode perbandingan berpasangan (*pairwise comparison method*) yang diisi oleh pemilik bisnis. Nilai TCC akhir diperoleh menggunakan rumus

$$TCC_{THI} = T^{\beta T} * H^{\beta H} * I^{\beta I} \quad (1)$$

dengan:

TCC= nilai numerik dari tingkat kecanggihan empat komponen fasilitas produksi yang dinormalisasi relatif terhadap yang terancang

β = bobot tingkat kepentingan relatif atau intensitas kontribusi komponen teknologi; ($\sum=1$)

Interpretasi hasil analisis ini kemudian dilakukan dengan merujuk pada kerangka teoretis yang relevan dan studi empiris sebelumnya untuk memberikan pemahaman mendalam tentang kondisi kesiapan teknologi industri panel surya di Indonesia dan meningkatkan daya saingnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian teknologi pada industri fotovoltaik dan pendukungnya di Indonesia dilakukan melalui beberapa aspek, meliputi evaluasi tingkat kecanggihan dan kemodernan teknologi, perhitungan kontribusi setiap komponen, serta penentuan koefisien kontribusi teknologi (TCC) setelah dilakukan pembobotan. Analisis ini difokuskan pada tiga kelompok industri, yakni produsen panel surya, perusahaan kabel, dan perusahaan struktur (*mounting*). Penilaian tingkat kecanggihan dan kemodernan komponen *technoware* (T), *humanware* (H), dan *infoware* (I) dilakukan dengan menentukan batas atas dan batas bawah untuk memposisikan kapabilitas perusahaan relatif terhadap kondisi *state-of-the-art* (SOTA). Data SOTA ini menjadi dasar untuk menghitung kontribusi setiap komponen teknologi dan nilai TCC akhir.

Hasil utama penelitian menunjukkan perbedaan signifikan dalam kapabilitas teknologi antar sektor industri. Industri panel surya berhasil mencapai Koefisien Kontribusi Teknologi (TCC) sebesar 0,7204, sementara perusahaan struktur (*mounting*) mencatatkan TCC sebesar 0,7297. Berdasarkan nilai tersebut, kedua sektor ini diklasifikasikan memiliki tingkat kesiapan teknologi "Sangat Baik" dengan level teknologi "Modern". Sebaliknya, perusahaan kabel menunjukkan kinerja yang lebih rendah dengan TCC sebesar 0,5651, yang menempatkannya pada klasifikasi kesiapan "Baik" dengan level teknologi "Semi Modern". TCC, dengan nilai antara 0 dan 1, berfungsi sebagai ukuran kontribusi teknologi dalam menciptakan nilai tambah di industri.

Pembahasan lebih dalam mengungkapkan bahwa tingginya nilai TCC pada industri panel surya dan struktur didorong oleh kontribusi yang sangat kuat dari komponen *humanware* dan *infoware*. Sebaliknya, rendahnya TCC pada perusahaan kabel disebabkan oleh kontribusi komponen *technoware* yang lemah, yang hanya mencapai 47%. Kesenjangan ini secara visual direpresentasikan dalam peta kapabilitas teknometrik (Gambar 4), yang menyoroti kelemahan *technoware* pada industri kabel dibandingkan dua industri lainnya. Kesiapan teknologi, yang merujuk pada adaptabilitas perusahaan untuk mengintegrasikan teknologi demi peningkatan produktivitas dan daya saing, secara nyata dipengaruhi oleh penguasaan level teknologi pada setiap komponennya. Dengan demikian, kapabilitas *technoware* menjadi faktor pembeda utama yang perlu segera ditingkatkan oleh industri kabel.

Berdasarkan perbandingan nilai koefisien kontribusi tersebut, maka dirumuskan sejumlah rekomendasi strategi untuk peningkatan teknologi di perusahaan. Untuk komponen *technoware*, rekomendasi difokuskan pada pengembangan fasilitas produksi melalui komputerisasi desain produk, optimalisasi penggunaan alat ukur dan pengujian kualitas, serta penguasaan teknologi produksi melalui akuisisi peralatan uji yang lebih maju. Pada komponen *humanware*, peningkatannya diarahkan pada pelatihan inovasi produk, evaluasi kinerja karyawan secara berkala, dan penyesuaian deskripsi pekerjaan dengan kapabilitas karyawan. Sementara itu, untuk *infoware*, penguatan diupayakan melalui penyediaan informasi terkini mengenai pengembangan produk, penyusunan prosedur operasi standar (SOP) yang jelas, dan partisipasi aktif dalam pameran produk. Implementasi rekomendasi ini diharapkan dapat mendorong interaksi positif antara teknologi yang ada, potensi industri, dan kebutuhan pasar, sehingga industri dalam negeri dapat meningkatkan perannya dalam mendukung pembangunan infrastruktur dan mencapai target

yang telah ditetapkan pemerintah. Pemetaan kondisi terkini masing-masing komponen Teknometrik (T, H, I) dijelaskan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kapabilitas Industri Fotovoltaik Nasional

Komponen	Sub-Komponen	Status	Catatan Singkat
<i>Technoware</i> (T)	Kapabilitas Industri Panel Surya	Optimal	Memiliki TCC 0,7204, diklasifikasikan "Sangat Baik" dengan level teknologi "Modern".
	Kapabilitas Industri Kabel	Perlu perhatian segera	Kontribusi <i>technoware</i> sangat rendah (47%) dengan TCC 0,5651, level "Semi Modern", menjadi kelemahan utama.
	Kapabilitas Industri Struktur (<i>Mounting</i>)	Optimal	Menunjukkan TCC 0,7297, diklasifikasikan "Sangat Baik" dengan level teknologi "Modern".
	Ketersediaan Industri Hulu	Perlu perhatian segera	Sangat bergantung pada impor bahan baku seperti sel surya dan kaca, industri hulu belum tersedia di dalam negeri.
<i>Humanware</i> (H)	Kontribusi di Industri Panel Surya & Struktur	Optimal	Merupakan komponen pendorong utama dengan kontribusi dominan (di atas 70%) yang menopang tingginya nilai TCC.
	Kontribusi di Industri Kabel	Optimal	Menjadi komponen terkuat di dalam industri kabel (kontribusi 75%) yang menutupi kelemahan komponen lain.
	Pengembangan Keterampilan & Inovasi	Perlu peningkatan	Meskipun kuat, penelitian merekomendasikan adanya pelatihan inovasi produk dan evaluasi kinerja untuk mencapai <i>best practice</i>
<i>Infoware</i> (I)	Kontribusi di Industri Panel Surya & Struktur	Optimal	Sama seperti <i>humanware</i> , menjadi komponen pendorong utama dengan kontribusi kuat di atas 70%.
	Kontribusi di Industri Kabel	Perlu peningkatan	Kontribusi sedang (sekitar 50%) dan perlu penguatan melalui penyusunan SOP serta diseminasi informasi yang lebih baik.
Konteks Regulasi	Konsistensi Kebijakan Energi	Perlu peningkatan	Ada komitmen dan target dari pemerintah, namun regulasi dinilai belum konsisten dan belum sepenuhnya mendukung perkembangan industri saat ini.
	Implementasi Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN)	Perlu perhatian segera	Target TKDN 40% menjadi tantangan besar karena minimnya ketersediaan bahan baku dan industri pendukung di dalam negeri.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan kemampuan teknologi industri panel surya dan pendukung sistem fotovoltaik di Indonesia menggunakan model Teknometrik, mengungkap kontribusi signifikan dari *technoware* (T), *humanware* (H), dan *infoware* (I) terhadap *Technology Contribution Coefficient* (TCC) di setiap sektor. Secara spesifik, industri panel surya menunjukkan kapabilitas "sangat baik" dengan TCC sebesar 0,7204, didukung oleh kontribusi dominan dari *humanware* dan *infoware* (78%). Sementara itu, perusahaan kabel, dengan TCC 0,5651, memiliki kandungan teknologi "baik", meskipun kontribusi *technoware* hanya 47%. Perusahaan struktur (*mounting*) juga terklasifikasi "sangat baik" dengan TCC sebesar 0,7297, dengan kontribusi *humanware* dan *infoware* di atas 70%.

Kelebihan utama dari studi ini adalah penggunaan model Teknometrik yang komprehensif untuk mengevaluasi kesiapan teknologi berdasarkan komponen *technoware*, *humanware*, dan

infoware secara kuantitatif. Hal ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kekuatan dan kelemahan teknologi di berbagai pemain industri fotovoltaik di Indonesia. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal jumlah perusahaan yang dapat diakses dan bersedia berpartisipasi dalam survei, terutama selama periode pandemi. Hal ini mungkin membatasi generalisasi temuan untuk seluruh industri fotovoltaik di Indonesia.

Berdasarkan temuan ini, direkomendasikan agar perusahaan yang terlibat dalam ekosistem fotovoltaik di Indonesia senantiasa siap beradaptasi dengan perubahan teknologi yang pesat, dan menjadikan peningkatan kapabilitas teknologi sebagai program prioritas. Secara khusus, disarankan untuk memprioritaskan pengembangan *technoware* melalui program komputasi desain produk dan optimasi peralatan uji, meningkatkan *humanware* melalui pelatihan inovasi dan evaluasi kinerja berkala, serta memperkuat *infoware* dengan penyediaan informasi produk yang komprehensif dan partisipasi aktif dalam pameran industri. Pengembangan selanjutnya dapat mencakup memperluas cakupan sampel penelitian untuk mendapatkan representasi yang lebih luas dari industri fotovoltaik di Indonesia, serta melakukan studi kualitatif mendalam untuk memahami faktor-faktor penghambat dan pendorong adopsi teknologi secara lebih rinci..

SARAN

Untuk menutup kekurangan penelitian ini dan memperluas pemahaman mengenai kapabilitas teknologi industri fotovoltaik di Indonesia, disarankan untuk melakukan beberapa pengembangan penelitian selanjutnya. Pertama, perluasan cakupan sampel penelitian sangat penting untuk mendapatkan representasi yang lebih komprehensif dari seluruh industri fotovoltaik di Indonesia, mengingat keterbatasan sampel selama periode pandemi. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan survei yang lebih luas, termasuk perusahaan-perusahaan di berbagai skala dan lokasi geografis. Kedua, disarankan untuk mengintegrasikan metode kualitatif, seperti wawancara mendalam dengan para pemangku kepentingan industri (misalnya, pemilik bisnis, manajer teknis, dan perwakilan pemerintah) untuk mendapatkan pemahaman yang lebih nuansif mengenai faktor-faktor penghambat dan pendorong adopsi serta pengembangan teknologi. Ketiga, penelitian selanjutnya dapat fokus pada analisis perbandingan dengan negara-negara lain yang memiliki kemajuan signifikan dalam industri fotovoltaik untuk mengidentifikasi praktik terbaik dan strategi yang dapat diterapkan di Indonesia. Terakhir, eksplorasi dampak kebijakan pemerintah yang lebih mendalam terhadap investasi dan inovasi teknologi dalam industri fotovoltaik akan memberikan rekomendasi kebijakan yang lebih kuat untuk mendukung pertumbuhan berkelanjutan sektor ini..

DAFTAR PUSTAKA

- [1]abdullah- alhaddad, “Perancangan Sistem Pendingin Photovoltaic dengan Memanfaatkan Kontroler Water Spray,” *ELKHA : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 47–53, Oct. 2020, doi: 10.26418/ELKHA.V12I2.39647.
- [2]F. Afif and A. Martin, “Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia,” vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022, doi: <https://doi.org/10.30588/jeemm.v6i1.997>.
- [3]I. N. Haq, “Simulasi Energi dan Keekonomian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Fungsi Peak Load Shaving pada Bangunan di Lingkungan Kampus ITB,” *Journal of Science and Applicative Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 179–186, May 2021, doi: 10.35472/JSAT.V5I1.449.
- [4]H. Nugroho and Muhyiddin, “Menurun dan Meningkat, Maju Namun Belum Cukup: Kinerja Pembangunan Sektor Energi di Tengah Pandemi Covid-19 Tahun 2020,” *Bappenas Working Papers*, vol. 4, no. 1, 2021.

- [5]W.I. Ervianto, “Tantangan Pembangunan Infrastruktur dalam Proyek Strategis Nasional Indonesia,” 2017.