

# Pemetaan Peluang dan Tantangan Pengembangan Industri Komponen PLTS di Indonesia



---

# Imprint

## Pemetaan Peluang dan Tantangan Pengembangan Industri Komponen PLTS di Indonesia

### Penulis:

Akbar Bagaskara

His Muhammad Bintang

### Penelaah:

Marlistya Citraningrum

Julius Christian Adiatma

### Penyunting:

Julius Christian Adiatma

### Sitasi

IESR (2022). Pemetaan Peluang dan Tantangan Pengembangan Industri Komponen PLTS di Indonesia. Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR).

### Tahun Terbit

November 2022.

---

## Temuan Utama

1. Komitmen Indonesia untuk mencapai *net-zero emission* (NZE) dapat dicapai melalui peningkatan pemanfaatan energi surya, di mana kebutuhan penambahan kapasitas PLTS dapat mencapai ratusan *Gigawatt*. Untuk memenuhi kebutuhan yang besar tersebut secara mandiri, Indonesia perlu memiliki kemampuan untuk memproduksi komponen PLTS di dalam negeri. Meskipun harga teknologi PLTS diproyeksikan akan terus turun, terkonsolidasinya industri komponen PLTS di segelintir negara memicu kekhawatiran terhadap gangguan pasokan, yang berpotensi meningkatkan biaya transisi energi. Pengembangan industri komponen PLTS di Indonesia sebaiknya lebih berorientasi pada pemenuhan kebutuhan domestik karena saat ini Indonesia telah cukup tertinggal untuk dapat bersaing menjadi produsen global. Untuk itu, diperlukan strategi, kebijakan, dan skema pendukung, yang turut mempertimbangkan perkembangan kondisi rantai pasok global, sehingga target pengembangan industri dapat dicapai dengan efisien dan tepat waktu.
2. Industri komponen PLTS yang sudah ada di Indonesia belum memiliki produk dengan daya saing harga, kualitas, dan *bankability*. Hingga saat ini, penggunaan modul surya impor masih mendominasi proyek-proyek PLTS, terutama pada proyek PLTS skala utilitas. Belum adanya pabrikan modul domestik yang memiliki predikat *tier-1* menjadi salah satu kendala yang menyebabkan proyek PLTS dengan TKDN tinggi menghadapi kesulitan dalam akses pendanaan. Ketergantungan pada komponen impor juga menyulitkan industri perakitan modul domestik untuk menekan biaya produksi. Selain itu, upaya peningkatan kapasitas produksi dan kualitas modul terkendala pada tingginya investasi yang dibutuhkan untuk pembaruan alat produksi.
3. Ekosistem industri komponen PLTS domestik Indonesia masih terjebak dalam siklus negatif. Di satu sisi, pasokan produk domestik tidak mampu diserap oleh pasar karena rendahnya permintaan instalasi PLTS. Di sisi lain, penerapan TKDN yang tidak disesuaikan dengan daya saing produk mengakibatkan peningkatan biaya proyek PLTS dan menghambat pertumbuhan permintaan. Sementara itu, intervensi pemerintah dalam pengembangan ekosistem komponen PLTS belum cukup agresif. Padahal, Indonesia memiliki keunggulan dari sisi ketersediaan sumber daya alam dan biaya produksi yang rendah.

- 
4. Mempertimbangkan beberapa kriteria seperti tingkat rintangan masuk, nilai industri, kebutuhan investasi dan waktu, serta ketersediaan industri vertikal, pengembangan industri hilir, khususnya industri sel surya, dapat menjadi prioritas untuk saat ini. Industri sel surya yang dibangun perlu mengadopsi jenis teknologi yang sejalan dengan tren global supaya produk sel surya masih berpeluang diserap pasar global pada saat permintaan domestik rendah. Selain itu, berdasarkan ketersediaan bahan baku dan potensi dampak pada penurunan biaya produksi modul surya, industri komponen pendukung modul seperti *tempered glass* dan *PV ribbon* juga perlu diprioritaskan. Akan tetapi, pengembangan industri tersebut masih terkendala oleh skala keekonomian.
  5. Hilirisasi bahan baku menjadi komponen pendukung PLTS seperti inverter, baterai, kabel, dan penyangga modul memiliki potensi dan tantangan yang beragam. Industri kabel eksisting dan industri baterai yang sedang dikembangkan berpeluang untuk melakukan diversifikasi ke lini bisnis komponen PLTS karena diproyeksikan akan memiliki permintaan yang besar di masa depan. Pabrik penyangga domestik berpotensi memiliki daya saing harga dibandingkan penyangga impor karena dapat menekan biaya transportasi secara signifikan. Tantangan yang dihadapi ketiga jenis industri tersebut untuk membuat unit produksi untuk komponen PLTS adalah besarnya kebutuhan investasi dan skala keekonomian yang belum mencukupi. Di sisi lain, pengembangan industri inverter menghadapi tantangan alih teknologi tinggi dan persaingan dengan produsen global. Akan tetapi, kemandirian memproduksi inverter perlu dikembangkan, terutama inverter jenis sentral yang dibutuhkan untuk PLTS skala utilitas. Keberadaan komponen pendukung yang diproduksi dalam negeri dapat berperan pada penurunan biaya proyek PLTS.

---

# Daftar Singkatan

AC	: <i>Alternating Current</i>
APAMSI	: Asosiasi Pabrik Modul Surya Indonesia
ASEAN	: <i>Association of Southeast Asia Nations</i>
BESS	: <i>Battery Energy storage System</i>
BPP	: Biaya Pokok Pembangunan
BSF	: <i>Back Surface Field</i>
BUMN	: Badan Usaha Milik Negara
C&I	: Komersial dan Industri
DC	: <i>Direct Current</i>
EBT	: Energi Baru Terbarukan
EBTKE	: Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi
EPC	: <i>Engineering, Procurement, and Construction</i>
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral
G20	: <i>Group of Twenty</i>
GRK	: Gas Rumah Kaca
GSEN	: Grand Strategi Energi Nasional
GW	: <i>Gigawatt</i>
GWac	: <i>Gigawatt of Alternating Current</i>
GWp	: <i>Gigawatt peak</i>
GWh	: <i>Gigawatt hour</i>
HDPE	: <i>High-Density Polyethylene</i>
IBC	: Indonesia Battery Corporation
IESR	: Institute for Essential Services Reform
JV	: <i>Joint Venture</i>
Kemenperin	: Kementerian Perindustrian
kWh	: <i>kiloWatt hour</i>
LCOE	: <i>Levelized Cost of Electricity</i>
Mono-PERC	: <i>Mono Passivated Emitter and Rear Cell</i>
MoU	: <i>Memorandum of Understanding</i>
MW	: <i>MegaWatt</i>
MWp	: <i>MegaWatt peak</i>

---

NZE	: <i>Net-Zero Emissions</i>
Permen	: Peraturan Menteri
Permenperin	: Peraturan Menteri Perindustrian
PLTD	: Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
PLTS	: Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
PT	: Perseroan Terbatas
PV	: <i>Photovoltaic</i>
SDM	: Sumber Daya Manusia
Q1	: Kuartal 1
R&D	: <i>Research and Development</i>
RRT	: Republik Rakyat Tiongkok
RUEN	: Rencana Umum Energi Nasional
RUPTL	: Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik
TKDN	: Tingkat Komponen Dalam Negeri
TopCon	: <i>Tunnel Oxide Passivated Contact</i>
TWh	: <i>TeraWatt hour</i>
USD	: <i>United State Dollar</i>

---

# Daftar Isi

Imprint	2	
Temuan Utama	3	
Daftar Singkatan	5	
Daftar Isi	7	
<b>1</b>	<b>Latar Belakang</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Metodologi</b>	<b>11</b>
	2.1. Analisis dan Pengumpulan Data	11
	2.2. Penyusunan Laporan	11
	2.3. Terminologi	12
<b>3</b>	<b>Proyeksi Kebutuhan Komponen PLTS di Indonesia</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Jenis Industri dan Kondisi Rantai Pasok Global</b>	<b>14</b>
	4.1. Rantai Produksi Modul Surya Silikon Monokristalin	14
	4.2. Kondisi Rantai Pasok Global Komponen Utama PLTS	16
	4.3. Komponen Pendukung PLTS	18
<b>5</b>	<b>Kondisi Industri Komponen PLTS di Indonesia</b>	<b>21</b>
	5.1. Peta Jalan dan Target Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN)	21
	5.2. Kondisi Industri Komponen Utama PLTS di Indonesia	24
	5.3. Industri Komponen Pendukung PLTS	26
<b>6</b>	<b>Peluang dan Tantangan Pengembangan Industri</b>	<b>28</b>
	6.1. Ketersediaan Bahan Baku Untuk Pembuatan Komponen PLTS	28
	6.2. Pengembangan Industri Komponen Utama PLTS	30
	6.2.1. Peluang Industri Sel Surya Sebagai Prioritas Pengembangan	32
	6.2.2. Tantangan Pengembangan Industri Hulu	35
	6.3. Pengembangan Industri Komponen Pendukung PLTS	38

---

6.3.1. Industri Inverter	39
6.3.2. Industri Baterai	40
6.3.3. Industri Kabel dan Penyangga PLTS	42
<b>7 Pembelajaran dari Negara Pengembang Industri Komponen PLTS</b>	<b>45</b>
7.1. Studi Kasus	45
7.1.1. RRT	45
7.1.2. India	48
7.1.3. Malaysia	51
<b>8 Kesimpulan dan Rekomendasi</b>	<b>53</b>
<b>Daftar Pustaka</b>	<b>57</b>



---

# 1. Latar Belakang

Untuk mencapai cita-cita *net-zero emission* (NZE) Indonesia, pemanfaatan energi surya pada sektor ketenagalistrikan dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menjadi kunci penurunan emisi gas rumah kaca (GRK). Rencana pemanfaatan energi surya di Indonesia telah tertuang dalam Perpres No.22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan 23% bauran energi terbarukan dari total pasokan energi primer pada tahun 2025 dengan energi surya berkontribusi sebesar 6,5 GW daya listrik. Komitmen pemanfaatan energi surya saat ini ditindaklanjuti pemerintah melalui Program Strategis Nasional (PSN) 3,6 GW PLTS atap, Grand Strategi Energi Nasional (GSEN), dan RUPTL hijau.

Sejak ditetapkannya Permen ESDM 46/2018 tentang PLTS atap, telah terjadi peningkatan jumlah pelanggan PLN pengguna PLTS hampir sepuluh kali lipat. Hingga awal 2022, telah terdapat 5.231 pelanggan yang menggunakan PLTS atap dengan total kapasitas terpasang sebesar 59,84 MWp. Selanjutnya, pemerintah telah memperbarui peraturan mengenai PLTS atap tersebut melalui Permen ESDM 26/2021 untuk mengakselerasi pemasangan PLTS, yang ditargetkan mencapai 450 MW di tahun 2022. Selain kontribusi sektor rumah tangga, Kementerian ESDM memproyeksikan peningkatan kapasitas PLTS dari sektor industri dan komersial (C&I) hingga mencapai 2 GW pada 2025. Permintaan sektor C&I berpotensi melampaui target tersebut mengingat adanya tren peningkatan kesadaran dan komitmen penggunaan energi bersih, terutama bagi perusahaan yang tergabung dalam inisiatif RE100.

Pada skala utilitas, permintaan pemasangan PLTS di Indonesia akan meningkat dengan adanya berbagai program pemerintah seperti konversi PLTD dengan PLTS, percepatan pensiun PLTU, serta peta jalan NZE yang akan segera ditetapkan. Program konversi PLTD pada daerah-daerah terisolasi akan meningkatkan total kapasitas PLTS lebih dari 200 MW sebelum tahun 2025. Sementara itu, ditetapkannya Perpres 112/2022 akan membatasi penggunaan pembangkit berbahan bakar batubara sehingga meningkatkan kebutuhan pembangkit EBT, terutama PLTS yang merupakan solusi cepat dan ekonomis dalam mencapai target NZE.

---

Bersamaan dengan rencana pengembangan PLTS, keberadaan *project pipeline* dalam jangka pendek dan menengah hingga tahun 2035 juga mensyaratkan adanya industri dan rantai pasok PLTS dalam negeri yang mampu menyuplai kebutuhan target tersebut dan memiliki daya saing ekonomi yang memadai. Namun, hingga saat ini Indonesia baru memiliki industri komponen pendukung dan perakitan modul surya, dengan harga produk yang masih lebih mahal dibandingkan modul pabrikan negara lain, terutama pabrikan asal RRT.

Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi rantai pasok dan kondisi eksisting industri surya di Indonesia dan mengenali jenis industri yang berpotensi untuk dikembangkan. Hasil dari analisis studi ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi dalam pembuatan peta jalan industri komponen PLTS di Indonesia.

---

## 2. Metodologi

### 2.1. Analisis dan Pengumpulan Data

Secara garis besar, studi ini menggunakan perpaduan antara pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif digunakan dengan tujuan untuk menganalisis data kecenderungan perkembangan dan kondisi industri saat ini di Indonesia, sementara pendekatan kualitatif digunakan dengan tujuan untuk menganalisis faktor pendukung dan penghambat dalam pengembangan industri komponen PLTS di Indonesia. Data dan informasi dalam studi dikumpulkan dari berbagai publikasi atau analisis yang pernah dilakukan oleh peneliti dan lembaga lain dari dalam maupun luar negeri. Selain itu, beberapa informasi juga diadopsi dari rangkaian kegiatan *Indonesia Solar Summit (ISS) 2022*.

### 2.2. Penyusunan Laporan

Bagian isi dari studi ini disusun dalam beberapa bab. Bab 3 memaparkan target-target pengembangan PLTS di Indonesia yang dapat diterjemahkan sebagai proyeksi pertumbuhan dan kebutuhan komponen PLTS di Indonesia. Bab 4 secara singkat menjabarkan jenis teknologi PLTS dan proses pembuatannya, serta menggambarkan kondisi pasar komponen PLTS global. Bab 5 berisi analisis mengenai kondisi terkini industri komponen PLTS di Indonesia, termasuk regulasi dan kendala yang dihadapi pelaku industri. Bab 6 berisi analisis jenis industri potensial yang dapat dikembangkan di Indonesia, baik industri komponen utama maupun komponen pendukung PLTS dengan mengacu pada kondisi dan tren pasar global. Bab 7 berisi tentang pembelajaran yang dapat diperoleh dari strategi pengembangan industri PLTS di beberapa negara. Bab 8 berisi tentang kesimpulan studi serta rekomendasi dalam pengembangan industri komponen PLTS di Indonesia berdasarkan hasil analisis dan juga pembelajaran dari strategi negara lain (produsen komponen PLTS) yang dipaparkan.

---

## 2.3. Terminologi

Pada praktik sehari-hari, penggunaan terminologi “industri solar”, “industri panel surya” atau “industri PV” sering digunakan untuk mendeskripsikan industri modul surya atau industri teknologi pembangkit listrik tenaga surya secara keseluruhan. Pada studi ini, digunakan beberapa terminologi yang dilakukan untuk mendeskripsikan barang atau jenis produk pada pembahasan rantai pasok industri. Berikut definisi masing-masing terminologi:

- Sel surya: Komponen PLTS berbahan dasar silikon yang mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya adalah komponen utama dari modul surya dan sistem PLTS.
- Modul surya: Komponen PLTS yang tersusun atas beberapa sel surya dan komponen pendukung.
- Komponen PLTS: Barang-barang yang digunakan pada sistem PLTS. Yang disebut sebagai komponen utama PLTS adalah komponen PLTS yang mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Pada studi ini, yang disebut sebagai komponen utama adalah sel dan modul surya. Yang disebut sebagai komponen pendukung modul adalah bagian dari modul surya selain sel surya, seperti *frame* dan *tempered glass*. Sementara, komponen pendukung PLTS ada bagian dari sistem PLTS selain modul surya (dan sel surya), seperti inverter dan baterai.

---

### 3. Proyeksi Kebutuhan Komponen PLTS di Indonesia

Kebijakan pemerintah Indonesia untuk melakukan moratorium terhadap pengembangan proyek pembangkit listrik berbahan bakar batubara baru dan target jangka panjang *net-zero emission* (NZE), menciptakan peluang untuk memaksimalkan potensi EBT, terutama tenaga surya. Akan tetapi, hingga saat ini, pasokan listrik Indonesia masih bergantung pada pembangkit listrik termal, berkat melimpahnya pasokan batubara dan gas dalam negeri. Berdasarkan RUPTL PLN (2021), sebesar 87,2% dari total kapasitas pembangkit terpasang pada tahun 2020 atau sebesar 61,13 GW merupakan pembangkit listrik termal.

Indonesia, sebagai negara yang mempunyai potensi energi surya yang melimpah, mulai mencanangkan proyek – proyek pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Meskipun RUPTL PLN hanya menargetkan kapasitas pembangkit PLTS sebesar 4.7 GWp pada 2030, dalam RUEN telah teridentifikasi kebutuhan akan kapasitas pembangkit PLTS sebesar 6.5 GW untuk mencapai target 23% bauran EBT di tahun 2025. Salah satu upaya pengembangan pembangkit PLTS adalah melalui Proyek Strategis Nasional (PSN) yang menargetkan kapasitas EBT terpasang dari PLTS atap sebesar 3,6 GW pada tahun 2025 (EBTKE, 2021). Sebagai upaya mencapai target tersebut, pemerintah Indonesia telah menetapkan Permen ESDM No. 26 tahun 2021 sebagai pengganti Permen ESDM No. 49/2018 tentang PLTS Atap. Meskipun regulasi yang lama telah berhasil meningkatkan angka pengguna prosumer<sup>1</sup> PLTS, beberapa revisi pada peraturan terbaru, seperti pada kenaikan harga ekspor listrik dari semula 65% menjadi 100%, diharapkan dapat mengakselerasi pemanfaatan PLTS atap.

Lebih lanjut, pada presidensi G20 tahun 2022, pemerintah Indonesia menyampaikan rencana transisi ke energi baru dan terbarukan untuk mencapai NZE di tahun 2060. Rencana tersebut menargetkan kapasitas PLTS terpasang sebesar 361 GW di tahun 2060 (sekitar 61,5% dari total kapasitas EBT) (EBTKE, 2022a). Pada dasarnya, pemerintah telah mengidentifikasi PLTS sebagai salah satu teknologi kunci dalam mendukung pencapaian NZE, menetapkan target kapasitas PLTS, dan mulai mengimplementasikan regulasi yang mendorong pemanfaatan PLTS. Oleh karena itu, pelaku usaha industri PLTS dalam negeri perlu mempersiapkan diri untuk terlibat dalam pemenuhan kebutuhan instalasi PLTS di Indonesia.

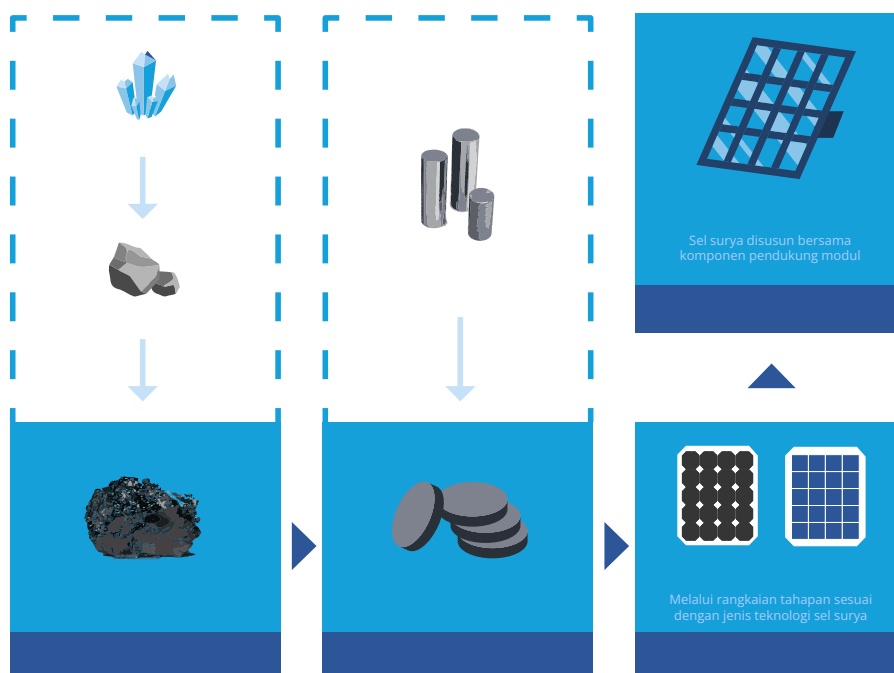
<sup>1</sup> Istilah untuk pelanggan penyedia listrik utilitas (PLN) yang dapat mengekspor energi listrik dari pembangkit PLTS atap.

## 4. Jenis Industri dan Kondisi Rantai Pasok Global

### 4.1. Rantai Produksi Modul Surya Silikon Monokristalin

Dalam satu dekade terakhir, produksi modul surya berjenis silikon monokristalin mengalami peningkatan yang signifikan dan saat ini menguasai 95% pasar global, dengan besaran produksi sekitar 180 GW di tahun 2021 (Fraunhofer ISE, 2022; IEA, 2022). Meskipun beberapa jenis modul (atau sel) surya lain seperti perovskite dan *thin-film* terus berkembang, modul surya berjenis silikon monokristalin diprediksi masih akan tetap mendominasi pasar global hingga tahun 2030. Oleh karena itu, studi ini difokuskan untuk mengulas industri komponen PLTS berjenis silikon monokristalin.

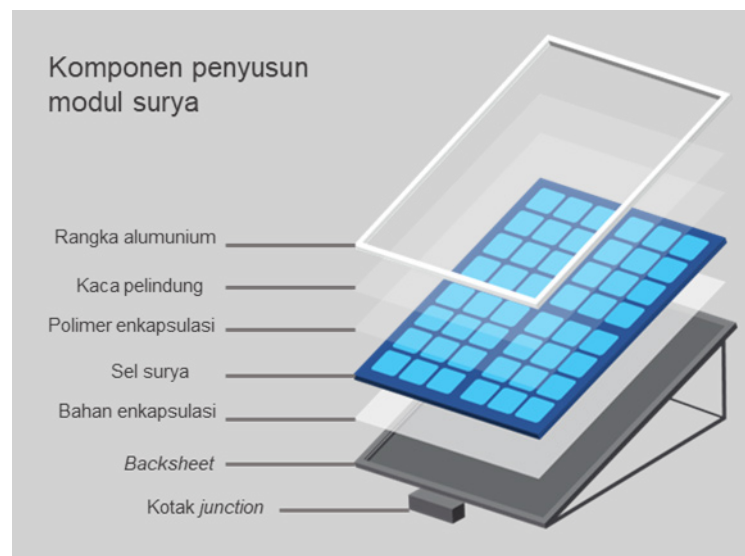
Silikon monokristalin merupakan material utama untuk membuat sel surya yang kemudian disusun menjadi modul surya. Material tersebut diperoleh melalui beberapa tahap pemrosesan dari bahan mentah berupa batu/pasir kuarsa yang mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ). Dari seluruh rantai proses dari kuarsa menjadi modul surya, jenis industri komponen utama PLTS umumnya dibagi menjadi empat tahapan utama, yaitu (1) industri polisilikon, (2) Industri ingot dan wafer, (3) Industri sel surya, dan (4) Industri modul surya, seperti ditampilkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Rantai produksi dan Industri rantai pasok modul surya monokristalin silikon. Diadopsi dari IEA (2022).

Pasir kuarsa hasil tambang umumnya mengandung elemen pengotor yang perlu dihilangkan untuk memperoleh silika ( $\text{SiO}_2$ ) kemurnian tinggi. Kandungan oksida ( $\text{O}_2$ ) dalam silika dieliminasi melalui proses reduksi karbotermik menjadi silikon *metallurgical-grade* (MG-Si, kemurnian >98%). Kemudian, MG-Si diproses lebih lanjut melalui dua tahap berurutan, yaitu hidroklorasi dan proses Siemens, untuk menghasilkan produk polisilikon.

Kemudian, polisilikon dikonversi menjadi ingot silikon monokristalin melalui proses Czochralski. Ingot silikon kemudian diiris menjadi wafer yang sangat tipis (pada skala mikrometer). Pada tahap selanjutnya, wafer silikon diubah menjadi sel surya melalui metode yang berbeda-beda. Jenis dan jumlah perlakuan seperti *doping*, *etching*, dan lain-lain menentukan jenis teknologi sel surya yang dihasilkan. Beberapa jenis teknologi sel surya yang dikenal saat ini, di antaranya adalah BSF, mono-PERC, TopCON, dan sebagainya. Sel surya kemudian perlu dirakit bersama beberapa komponen pendukung modul seperti rangka alumunium, kaca pelindung, polimer enkapsulasi, *backsheet*, dan kotak *junction*, sehingga menjadi modul surya seperti ditampilkan pada Gambar 2.



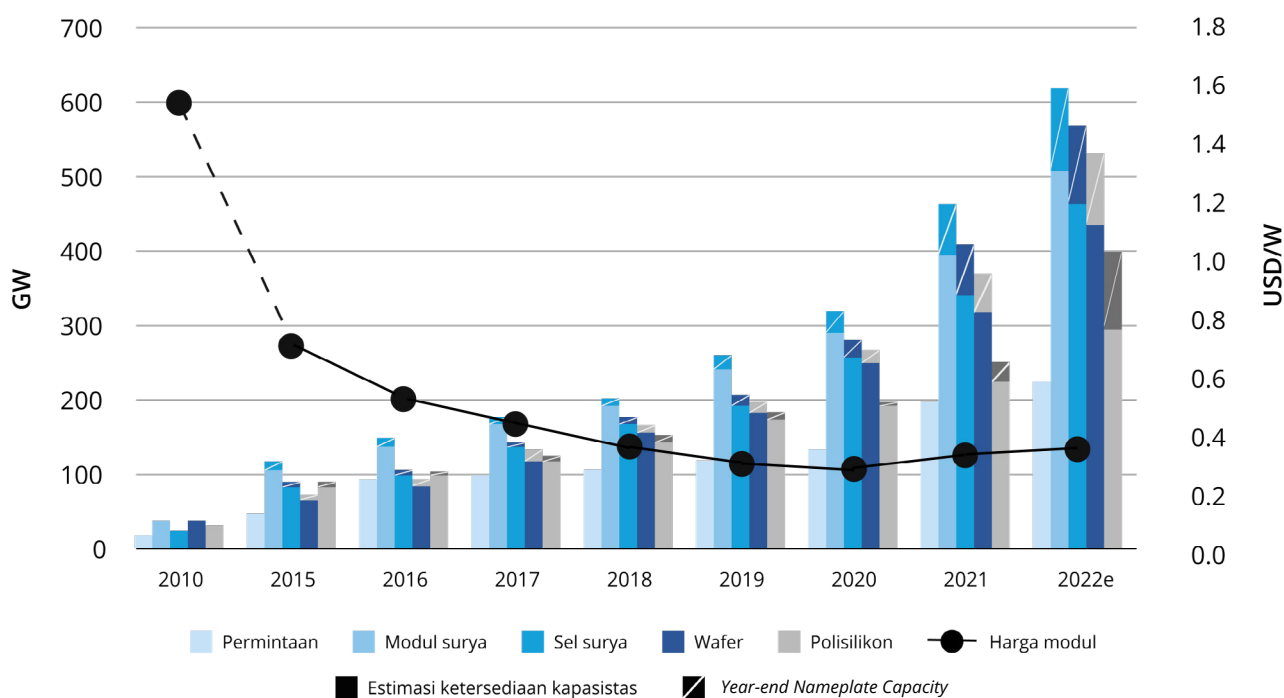
Gambar 2. Komponen penyusun modul surya

Selain industri komponen utama, agar modul surya dapat berfungsi secara optimal sebagai sistem PLTS, diperlukan juga beberapa komponen pendukung esensial yang sering disebut sebagai *balance of system* (BOS) yang meliputi inverter, kabel, penyangga modul, dan *energy storage*. Manufaktur keempat komponen tersebut dalam laporan ini selanjutnya disebut industri komponen pendukung PLTS.

## 4.2. Kondisi Rantai Pasok Global Komponen Utama PLTS

Komitmen dan kebijakan pengurangan emisi GRK melalui PLTS di banyak negara, terutama RRT, India, dan Uni Eropa menjadi pendorong utama peningkatan permintaan akan instalasi PLTS. International Energy Agency (IEA) melaporkan permintaan PLTS global di tahun 2021 hampir mencapai 200 GW, melebihi proyeksi sebelumnya yang berkisar antara 120 - 140 GW. Dengan adanya peningkatan kebutuhan pasokan listrik dunia hingga mencapai 2.700 TWh per tahun pada 2025, permintaan komponen PLTS diprediksi akan terus meningkat.

Di saat terjadi peningkatan permintaan instalasi PLTS dan kapasitas produksi industri-industri dalam rantai pasok komponen utama PLTS, seperti industri polisilikon, wafer, dan sel surya, harga modul surya global menunjukkan tren penurunan sekitar 80% selama periode 2010-2020. Akan tetapi, pada tahun 2021, terjadi kenaikan harga rata-rata modul surya akibat peningkatan harga komoditas berbahan kaca, perak, maupun silikon, serta kenaikan ongkos transportasi yang salah satu penyebabnya adalah pandemi COVID-19. Meskipun demikian, harga modul surya diprediksi akan kembali menunjukkan tren penurunan melalui inovasi dan peningkatan efisiensi dalam rantai produksi yang selama ini terus dikembangkan (IEA, 2022).

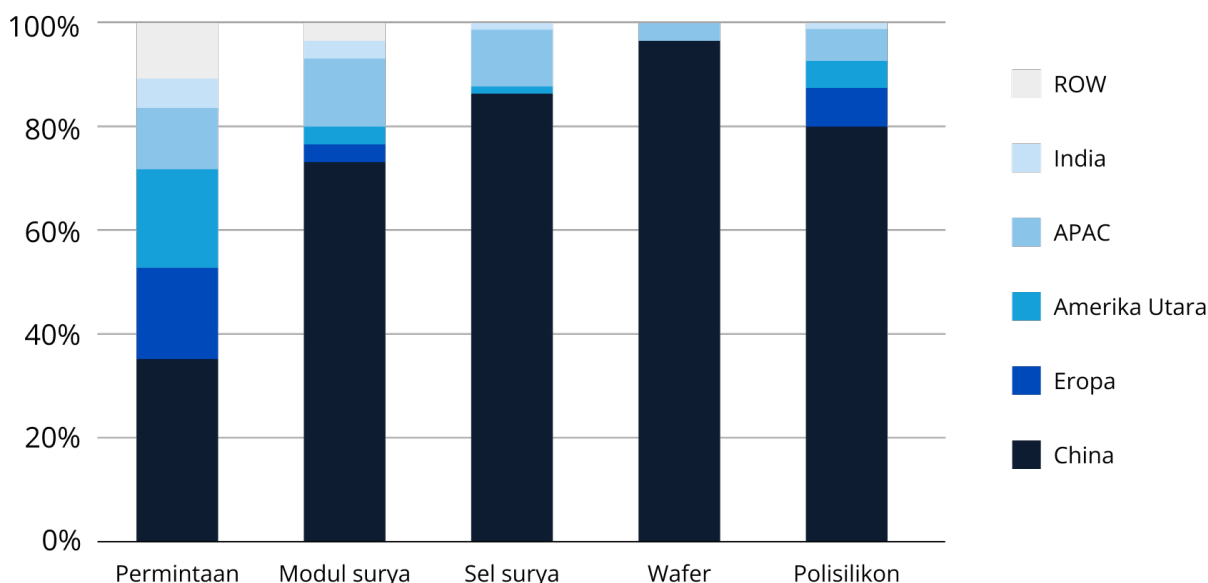


Gambar 3. Perubahan kapasitas produksi segmen rantai pasok industri komponen utama PLTS dibandingkan permintaan dan harga modul surya. Sumber: IEA (2022)



Seperti ditampilkan pada Gambar 3, industri-industri dalam rantai pasok modul surya, kecuali industri polisilikon, memiliki kapasitas produksi yang jauh lebih tinggi dari permintaan pasar pada tahun 2021. Ketatnya selisih antara permintaan dan pasokan dari industri polisilikon merupakan salah satu dampak dari tutupnya pabrikan polisilikon di beberapa negara pada periode 2010-2015 yang tidak mampu bersaing dengan pabrikan asal RRT. Pada akhir tahun 2021, pabrikan polisilikon yang terkonsentrasi di RRT terdampak pandemi dan menyebabkan gangguan pasokan global sehingga harga polisilikon naik hingga 4 kali lipat dan mencapai USD 35/kg.

Saat ini, lebih dari 80% pangsa pasar komponen utama PLTS (polisilikon hingga modul surya) didominasi oleh RRT. Dominasi RRT ini diprediksi akan berlanjut dengan adanya beberapa fasilitas industri PLTS yang masih dalam tahap konstruksi di negara tersebut. Di sisi lain, hanya sekitar 40% dari total permintaan instalasi global yang berasal dari RRT. Kedua hal ini menyiratkan bahwa sekitar 40% dari pasokan komponen PLTS global bergantung pada pabrikan RRT (BloombergNEF, 2021b; IEA, 2022; U.S DOE, 2022). Terkonsentrasinya rantai pasok komponen PLTS di satu negara dapat menjadi masalah bagi negara-negara yang telah mencanangkan target NZE dan pemasangan PLTS, termasuk Indonesia. Fenomena kenaikan harga modul surya global dalam dua tahun terakhir menjadi indikasi akan pentingnya mempersiapkan kemandirian pasokan komponen PLTS, setidaknya untuk pemenuhan kebutuhan dalam negeri.

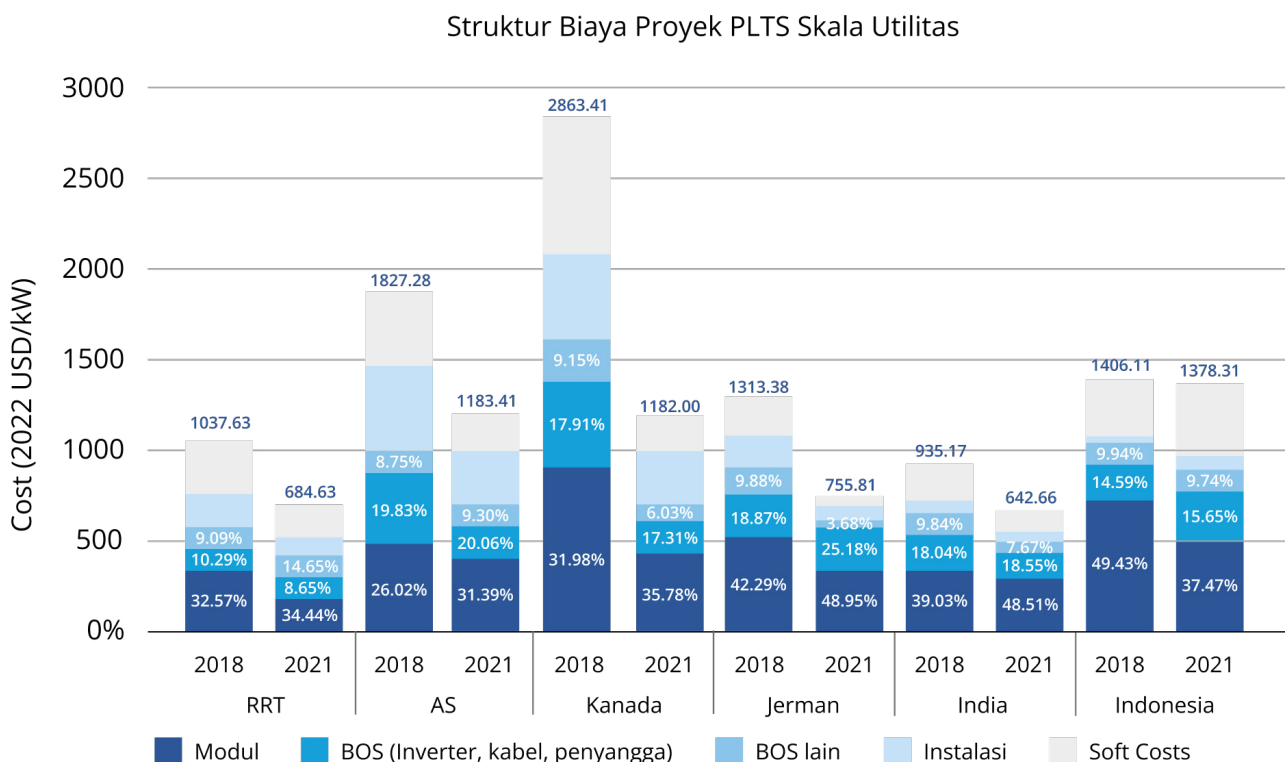


Gambar 4. Permintaan dan pangsa pasar rantai pasok komponen utama PLTS global.  
Sumber: IEA (2022)

### 4.3. Komponen Pendukung PLTS

Modul surya yang merupakan produk hilir industri komponen utama PLTS bukan satu-satunya faktor penentu biaya proyek sistem PLTS. Bahkan, porsi modul surya pada struktur biaya proyek PLTS di beberapa negara secara konsisten dilaporkan mengalami penurunan. Di sisi lain, kontribusi komponen pendukung (BOS) pada biaya proyek cukup bervariasi (Fraunhofer ISE, 2022), seperti ditampilkan pada Gambar 5.

Harga rata-rata modul surya yang semakin murah nampak belum sejalan dengan harga komponen pendukung. Salah satu penyebabnya adalah riset dan pengembangan selama ini lebih terfokus pada komponen utama (modul surya), yang semula merupakan kontributor terbesar dalam struktur biaya proyek PLTS (Elshurafa et al., 2018). Dibandingkan dengan laporan mengenai rantai pasok komponen utama, laporan tentang rantai pasok komponen pendukung masih sangat terbatas karena memerlukan pengumpulan data dari jenis-jenis industri yang lebih beragam. Rantai pasok komponen pendukung PLTS dapat digolongkan menjadi peralatan elektronik, kabel, dan struktur penyangga. Peralatan elektronik dalam sistem PLTS yang menjadi bahasan pada studi ini adalah inverter dan teknologi penyimpanan (baterai).



Gambar 5. Perubahan struktur biaya proyek PLTS skala utilitas di berbagai negara. Direproduksi dari IRENA (2019, 2022)

---

Inverter merupakan peralatan elektronik pada sistem PLTS yang mengubah energi listrik DC (*Direct Current*) yang dihasilkan oleh sel surya menjadi energi listrik AC (*Alternating Current*) sehingga dapat digunakan dalam jaringan listrik. Inverter memiliki jenis yang beragam dan secara umum dibedakan berdasarkan rating dayanya. Pada tahun 2021, inverter dengan daya kecil-menengah (<150 kWp) berjenis string, yang umumnya digunakan pada sistem PLTS rumah atau komersial kecil dan menengah, memiliki pangsa pasar sekitar 64%. Sementara itu, inverter jenis sentral (daya > 80 kWp), yang umumnya digunakan untuk sistem PLTS skala utilitas atau komersial besar, memiliki pangsa pasar sekitar 34% (Fraunhofer ISE, 2022). Inverter terdiri dari komponen elektronika daya semikonduktor, blok daya, dan komponen pasif. Komponen-komponen ini biasanya diproduksi secara terpisah dan akan disatukan untuk menjadi sebuah inverter. Pada tahun 2020, produksi inverter global diestimasi sebesar 185 GWac, di mana 66% kapasitas tersebut diproduksi pabrikan RRT (U.S DOE, 2022).

Selain inverter, komponen pendukung sistem PLTS yang tidak kalah pentingnya adalah baterai. Pemanfaatan energi surya dalam bentuk PLTS, khususnya dalam sistem PLTS yang berdiri sendiri (*off-grid*), membutuhkan baterai dalam pengoperasiannya. Jenis baterai yang umumnya digunakan pada sistem PLTS adalah baterai *lead-acid* dan *lithium-ion*. Baterai *lead-acid* merupakan teknologi baterai yang telah lama dikomersialisasikan, sementara teknologi baterai *lithium-ion* relatif baru dikembangkan secara intensif dalam beberapa tahun terakhir untuk industri kendaraan listrik. Dengan belum adanya perusahaan besar yang mendominasi, pasar industri baterai saat ini merupakan pasar yang masih terbuka.

Meskipun penggunaan baterai sudah sering ditemukan pada sistem PLTS, informasi mengenai kapasitas baterai terpasang dan jenisnya masih belum tersedia, terutama pada sistem PLTS kecil seperti pada skala rumah tangga. Hingga 2017, kapasitas baterai terpasang untuk sektor energi global diperkirakan telah mencapai 10 GWh (Ralon et al., 2017). Sementara itu, total kebutuhan baterai dunia untuk sektor ketenagalistrikan diperkirakan akan mencapai 159 GW dan 1046 GW pada tahun 2030 dan 2050 menurut skenario kebijakan saat ini (*Stated Policies Scenario*) (IEA, 2021).

---

Kabel pada sistem PLTS yang berfungsi menghubungkan beberapa modul surya dan komponen pendukung harus memiliki ketahanan terhadap radiasi *ultraviolet*, temperatur tinggi, dan kondisi cuaca yang berbeda-beda. Kabel yang digunakan pada sistem PLTS umumnya dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu kabel DC *solar* yang biasanya digunakan sebagai penghubung antar modul surya, kabel DC utama yang menjadi penghubung antara modul surya dan inverter, dan kabel penghubung AC yang digunakan untuk mengalirkan listrik dari inverter ke jaringan listrik berarus AC. Pemilihan ukuran dan jenis material kabel sangat penting dalam sistem PLTS untuk memastikan keamanan sistem dan efisiensi transmisi listrik. Namun, studi mengenai rantai pasok industri kabel yang memaparkan secara rinci kebutuhan kabel untuk sistem PLTS masih sangat terbatas. Kabel untuk sistem PLTS umumnya harus memenuhi standardisasi yang tertuang dalam *National Electric Code* (NEC) masing-masing negara. Beberapa negara telah memiliki industri dan kemampuan memproduksi komponen kabel untuk kebutuhan sistem PLTS.

Struktur penyangga pada sistem PLTS berfungsi untuk menjaga posisi modul surya pada sudut optimum sinar matahari. Karena itu, penyangga modul harus memiliki struktur mekanis yang kuat (terhadap angin). Selain itu, struktur penyangga perlu memiliki ruang untuk sirkulasi udara dan dapat dilengkapi dengan *tracker* agar sel surya beroperasi secara lebih efisien. Struktur penyangga untuk PLTS *ground-mounted* umumnya berbahan *stainless steel*. Sementara itu, untuk PLTS terapung dibutuhkan komponen *floater*. Saat ini, sudah banyak pemasok global untuk penyangga berjenis *fixed-tilt* karena rintangan masuk (*barrier to entry*) pasar yang rendah dengan minimnya paten atau kekayaan intelektual terkait dengan desain penyangga. Struktur penyangga modul untuk proyek PLTS biasanya diproduksi dekat dengan lokasi pemasangan atau dipasok langsung oleh pabrikan modul surya untuk menekan biaya pengiriman.

---

## 5. Kondisi Industri Komponen PLTS di Indonesia

### 5.1. Peta Jalan dan Target Tingkat Komponen dalam Negeri (TKDN)

Pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Perindustrian, telah menyertakan industri pembangkit energi, termasuk industri pengolahan komponen PLTS, sebagai salah satu dari 10 industri prioritas dalam Rencana Induk Pengembangan Industri Nasional (RIPIN) 2015-2035. Meski demikian, belum ada regulasi yang mampu mendorong pengembangan industri secara signifikan seperti yang diterapkan negara-negara produsen komponen PLTS, contohnya RRT dan India (BloombergNEF, 2021a).

Dalam RIPIN 2015-2035, Kemenperin bertugas memfasilitasi pendirian pabrik komponen PLTS, pabrik pengolahan material sel surya, dan alih teknologi industri sel surya. Untuk memacu pengembangan tersebut, aturan TKDN yang progresif juga telah ditetapkan. Menurut Kemenperin, pemerintah memiliki peta jalan industri panel surya (PLTS) hingga tahun 2025 untuk mendorong pengembangan industri PLTS dalam negeri (Kemenperin, 2021). Peta jalan tersebut mencakup target TKDN industri komponen PLTS sebesar 40% pada tahun 2016-2018 yang meliputi pembuatan wafer, sel surya, dan modul surya. Target TKDN tersebut kemudian diharapkan meningkat menjadi 76% pada tahun 2019-2020 melalui pembangunan pabrik pembuat ingot. Lebih lanjut, peta jalan juga mencanangkan kenaikan TKDN menjadi 85% dengan kehadiran pabrikan silikon *solar-grade* pada tahun 2020-2022. Namun, target TKDN yang tinggi tersebut gagal terealisasi hingga tahun 2022.

Pada tahun 2018, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) juga telah melakukan kajian tentang peta jalan pengembangan yang lebih realistis dan cukup rinci berisikan strategi jangka pendek (1-2 tahun), jangka menengah (3-4 tahun), dan jangka panjang (>5 tahun), beserta rekomendasi penerapan kebijakan fiskal dan non-fiskal (PPIMTE, 2018). Namun, hingga saat ini, belum ada realisasi yang signifikan dari peta jalan tersebut, terutama dalam hal penyiapan regulasi dan kebijakan.

Saat ini, Indonesia membutuhkan pembaruan peta jalan pengembangan industri PLTS, menyesuaikan dengan kondisi dalam negeri dan rantai pasok global yang telah mengalami perubahan dalam beberapa tahun terakhir. Seperti yang telah dimandatkan dalam Perpres 112/2022, Kemenperin perlu menyusun peta jalan pengembangan industri untuk mendukung percepatan pengembangan EBT. Peta jalan tersebut harus spesifik dan realistis agar dapat dijadikan tolak ukur dan bahan pertimbangan pemerintah pusat dalam pemberian insentif. Selain itu, mandat untuk memprioritaskan penggunaan produk dalam negeri perlu ditindaklanjuti dengan penerapan aturan TKDN bertahap yang sesuai dengan kondisi aktual dan strategi intervensi finansial dan non-finansial berdasarkan hasil perundingan pemerintah dan pelaku industri.

Tabel 1. Peta jalan pengembangan industri PLTS di Indonesia yang disusun oleh Kemenperin dan BPPT

Peta Jalan Pengembangan Industri Komponen PLTS di Indonesia				
1. Kemenperin				
Periode	2016-2018	2019-2020	2020-2022	2023-2025
Target	Pemenuhan TKDN 40% yang meliputi untuk pembuatan wafer, solar cell, dan solar module.	Pemenuhan TKDN 76% dengan adanya <i>ingot factory</i> .	Pemenuhan TKDN 85% dengan adanya <i>solar grade silicon factory</i> .	Pemenuhan TKDN >90% dengan adanya <i>MG-silicon factory</i> .
2. BPPT				
Periode	2019-2020	2021-2024	2025	
Target & Strategi	Tahap persiapan:	Tahap pengembangan:	Tahap penguatan:	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>Edukasi dan penyiapan pasar domestik.</li> <li>Penyiapan regulasi dan kebijakan.</li> <li>Penyiapan sumber daya (manusia, dana, dan fasilitas).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pengembangan industri sel surya nasional (melalui <i>join-production</i>, lisensi)</li> <li>Pengembangan kompetensi SDM</li> <li>Pengembangan infrastruktur industri sel surya</li> <li>Program ahli teknologi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pencapaian target pasar dalam negeri 6.5 GWp</li> <li>Mengintensifkan program alih teknologi</li> <li>Memperkuat daya saing industri sel surya nasional</li> <li>Mempersiapkan pasar ekspor</li> </ol>	

Aturan TKDN untuk proyek PLTS saat ini belum efektif karena tidak disertai dengan insentif yang memadai untuk pengembangan industri. Di sisi lain, aturan ini justru cenderung menghambat pertumbuhan instalasi PLTS di Indonesia. Aturan TKDN yang dimaksud mengacu pada Permenperin No. 4 dan 5 tahun 2017 yang mengharuskan 34% - 40% untuk peralatan (modul surya, inverter, struktur pemasangan, dan BOS lainnya) dan 100% untuk jasa (logistik, pemasangan, dan konstruksi) dipenuhi oleh industri dalam negeri. Khusus untuk modul surya, TKDN

yang harus dipenuhi adalah 40% pada 2017 dan direncanakan untuk meningkat hingga 60% pada 2019. Akan tetapi, setelah terjadi penolakan dari pengembang PLTS, pemenuhan TKDN masih berada pada 40% pada 2021.

TKDN PLTS menjadi salah satu tantangan dalam pemenuhan target kapasitas EBT terpasang pemerintah Indonesia. Kewajiban pemenuhan TKDN memberatkan pengembang PLTS dalam hal pendanaan proyek karena komponen PLTS produksi dalam negeri seperti modul surya dinilai belum *bankable*. Terlebih lagi, harga modul dalam negeri juga lebih mahal dibandingkan modul impor. Karena itu, pemerintah juga perlu merumuskan strategi jangka panjang untuk menyelesaikan permasalahan *bankability* dan tingginya harga produksi dalam negeri ini selain menetapkan aturan TKDN.

Tabel 2. Komponen, nilai acuan, dan bobot TKDN berdasarkan jenis sistem PLTS sesuai Permenperin No. 4/2017 dan No. 5/2017

No	Komponen TKDN	Tersebar Berdiri Sendiri		Terpusat Berdiri Sendiri		Terpusat Terhubung	
		TKDN(%)	Bobot(%)	TKDN(%)	Bobot(%)	TKDN(%)	Bobot(%)
<b>1</b>	<b>TKDN Barang</b>	<b>39,87</b>	<b>90</b>	<b>37,47</b>	<b>90</b>	<b>34,09</b>	<b>90</b>
	Modul Surya*	40	40,5	40	13,14	40	40,5
	Baterai	40	22,05	40	25,2	-	-
	<i>Battery Control Unit</i>	10	10,59	-	-	-	-
	Penyangga Modul	42,4	6,3	42,4	20,7	42,4	10,8
	Kabel	90	7,94	90	7,2	90	3,6
	<i>DC Combiner Box</i>	-	-	20	3,06	20	5,4
	<i>Distribution Panel</i>	-	-	40	2,7	40	6,3
	Sistem Proteksi	-	-	20	1,8	20	4,5
	<i>Energy Limiter</i>	-	-	40	2,7	-	-
	Travo	-	-	-	-	40	5,4
	Aksesoris	0	2,65	-	-	-	-
	Inverter dan <i>Solar Charge Controller</i>	-	-	0	13,5	0	13,5
<b>2</b>	<b>TKDN Jasa</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>-</b>
	Pengiriman	100	6,67	100	4,67	100	2,2
	Pemasangan	100	3,33	100	3,33	100	5,4
	Konstruksi	-	-	100	2	100	2,4
<b>3</b>	<b>TKDN Gabungan Barang dan Jasa</b>	<b>45,9</b>	<b>100</b>	<b>43,72</b>	<b>100</b>	<b>40,68</b>	<b>100</b>

\*Seharusnya meningkat menjadi 50% pada 2018 dan 60% pada 2019

## 5.2. Kondisi Industri Komponen Utama PLTS di Indonesia

Pada rantai pasok komponen utama (polisilikon hingga modul surya), Indonesia baru memiliki industri perakitan modul surya yang mengandalkan sel surya impor. Industri perakitan modul surya sudah cukup berkembang di Indonesia. Menurut Kementerian ESDM, terdapat setidaknya 21 pabrik modul surya yang memiliki total kapasitas produksi sebesar 1.644 MWp per tahun. Sebagian pabrik modul surya yang tergabung dalam Asosiasi Pabrik Modul Surya Indonesia (APAMSI) dilaporkan memiliki kapasitas produksi sebesar 560 MWp per tahun pada 2022, dengan persebaran untuk setiap pabrikannya dapat dilihat pada Tabel 1. Dari pabrik-pabrik tersebut, pemenuhan TKDN tertinggi baru mencapai 47,5% karena beberapa komponen penyusun modul surya seperti *tempered glass*, film EVA, dan *PV ribbon* belum dapat diproduksi oleh industri dalam negeri (EBTKE, 2022b; Purwanto, 2022).

Tabel 3. Daftar nama pabrik modul surya di Indonesia beserta kapasitas produksi dan capaian TKDN

Prabikan Modul Surya di Indonesia				
No	Nama Pabrik	Kapasitas Produksi (MWp/tahun)	TKDN	Keterangan
1	PT Adyawinasa Electrical & Power	40	47,5%	APAMSI
2	PT Azet Surya Lestari	45	45,5%	APAMSI
3	PT Deltamas Solusindo	30	45,5%	APAMSI
4	PT Indodaya Citra Lestari	30	45,5%	APAMSI
5	PT Jembo Energindo	60	45,5%	APAMSI
6	PT LEN Industri (Persero)	75	47,5%	APAMSI
7	PT Sankeindo	45	47,5%	APAMSI
8	PT Sky Energi Indonesia	50	47,5%	APAMSI
9	PT Surya Utama Putra	45	45,5%	APAMSI
10	PT Swadaya Prima Utama	40	47,5%	APAMSI
11	PT Wijaya Karya Industri & Energi	50	47,5%	APAMSI
12	PT Santinilestasi Energi	50	40,0%	APAMSI
13	PT Techland Solar	100	40,0%	Non-APAMSI
14	PT Indonesia Solar Global (ISG)	50	40,0%	Non-APAMSI
15	PT Sunda	-	45,5%	Non-APAMSI
16	PT Sky Indonesia	12	40,0%	Non-APAMSI
17	PT Cipta Mentari Utama	70	40,0%	Non-APAMSI
18	PT ZEF Energi	3.23	40,0%	Non-APAMSI
19	IDN Solar Tech	800	40,0%	Non-APAMSI
20	PT Avecode Internasional (Celesta)	24	N/A	Non-APAMSI
20	PT Hanover Solar Indonesia	25	40,0%	Non-APAMSI

Sumber: EBTKE (2022b)



---

Meskipun berjumlah cukup banyak, pabrikan modul surya di Indonesia belum mampu bersaing dengan pabrikan asing. Contohnya, masih banyak proyek PLTS skala utilitas yang menggunakan modul surya impor karena lebih unggul dari segi harga, kualitas (*sizing* dan efisiensi), dan *bankability* dibandingkan modul produksi dalam negeri.

Saat ini, perbedaan harga antara modul impor dan modul buatan domestik adalah sekitar USD 0,09 per Wp (IESR, 2021). Sebagian besar modul domestik menggunakan *sizing* di bawah 400 Wp/unit dan masih menggunakan teknologi sel surya dengan efisiensi rendah (di bawah 20%). Sementara itu, tren pasar global menunjukkan peningkatan permintaan dan produksi modul dengan *sizing* di atas 500 Wp/unit dan teknologi sel surya berefisiensi lebih tinggi (sekitar 23%). Selain itu, belum ada modul surya domestik yang memperoleh predikat *tier-1* dalam sistem pemeringkatan yang dikembangkan oleh BloombergNEF sebagai acuan *bankability* pabrikan modul surya. Sertifikasi modul *tier-1* diberikan kepada pabrikan yang telah memasok produk untuk setidaknya enam proyek dengan skala lebih besar dari 1,5 MW dalam waktu dua tahun terakhir dan memperoleh pendanaan dari enam bank berbeda.

Kepemilikan predikat *tier-1* oleh suatu pabrikan sangat berpengaruh pada saat pengajuan pendanaan proyek PLTS, terutama untuk pendanaan dari institusi asing yang memberikan suku bunga relatif lebih rendah daripada institusi pendanaan dalam negeri. Tingginya suku bunga pinjaman bank dalam negeri, yang menilai proyek PLTS sebagai beresiko tinggi, telah lama memberatkan pengembang PLTS dalam negeri. Oleh karena itu, sertifikasi *tiering* tersebut menjadi penting bagi pabrikan karena dapat mempermudah akses terhadap pendanaan internasional.

Berdasarkan kondisi saat ini, Kementerian ESDM memiliki beberapa target untuk pengembangan industri perakitan modul surya, yaitu (1) pabrikan modul surya lokal mendapatkan sertifikasi *tier-1*, (2) peningkatan kualitas produk dari pabrikan modul surya lokal, dan (3) modul surya lokal memiliki harga yang lebih kompetitif.

Namun, langkah-langkah untuk mencapai target tersebut memiliki beberapa kendala. Pertama, syarat untuk mendapatkan sertifikasi *tier-1* adalah pabrikan lokal harus memasok untuk enam proyek PLTS, padahal belum banyak proyek PLTS skala utilitas yang menggunakan modul surya lokal. Kolaborasi dengan perusahaan

*tier-1* asing dapat menjadi salah satu solusi untuk menaikkan permintaan terhadap modul lokal. Selain itu, melalui kolaborasi tersebut, diharapkan kualitas produk akan meningkat.

Peningkatan kualitas dan penurunan harga produk juga dapat dilakukan dengan pembaruan mesin-mesin produksi supaya mampu memproduksi modul berkapasitas lebih dari 500 Wp per unit. Namun, pembaruan ini memerlukan biaya investasi yang tinggi dan kecakapan sumber daya manusia (SDM) dalam negeri untuk mengoperasikan mesin-mesin produksi baru tersebut. Kendala lain adalah kurangnya jumlah fasilitas uji standar. Saat ini, fasilitas untuk mengakomodasi kebutuhan lima uji standar (kualitas modul, keamanan, korosi kabut garam, PID *testing*, dan korosi amonia) masih dalam proses pembangunan.

Tabel 4. Kapasitas produksi industri komponen utama PLTS di Indonesia, RRT, dan dunia

Kapasitas Produksi (per tahun) Indonesia Dalam Rantai Pasok Komponen Utama				
	Polisilikon	Ingot dan Wafer	Sel Surya	Modul Surya
Indonesia	-	-	(+1 GWp)	1,644 GWp (+1 GWp)
Global	280 GW	380 GW	400 GW	460 GW
RRT	80%	97%	80%	70%

Sumber: ESDM, APAMSI, BloombergNEF. analisis IESR

### 5.3. Industri Komponen Pendukung PLTS

Beberapa komponen pendukung PLTS sudah dapat diproduksi di dalam negeri walaupun belum cukup untuk memenuhi kebutuhan sistem PLTS yang beragam, dari PLTS atap berskala kecil hingga PLTS skala utilitas. Sebagai contoh, PT. LEN Industri sudah mengembangkan beberapa inverter dengan daya 3-15 kW yang umumnya digunakan pada sistem PLTS atap. Namun, selama pengerjaan studi ini, belum ditemukan pabrikan dalam negeri yang memproduksi inverter jenis sentral untuk digunakan pada PLTS skala utilitas.

Kondisi serupa didapati pada industri baterai dalam negeri yang telah mampu memproduksi beberapa jenis baterai, mulai dari proses *casting* (pengolahan bahan mentah) untuk jenis baterai *lead-acid* dan proses *stacking* (penyusunan sel baterai) untuk jenis baterai *lithium-ion*. Meski demikian, belum seluruh komponennya berasal dari dalam negeri. Khusus untuk baterai *lithium-ion*, Kementerian BUMN

---

secara resmi telah membentuk perusahaan induk (*holding*) BUMN baterai bernama Indonesia Battery Corporation (IBC). Perusahaan ini bekerja sama dengan produsen baterai global (LG Energy Solution) untuk membangun ekosistem industri baterai, mulai dari penambangan material hingga produksi sel baterai, dan ditargetkan untuk mulai memproduksi sel baterai di tahun 2024. Selain untuk memasok industri kendaraan listrik, sel baterai *lithium-ion* produksi IBC rencananya juga diperuntukkan sebagai *Battery Energy Storage System* (BESS). IBC dan PLN telah menandatangani MoU untuk membangun proyek percontohan BESS berkapasitas 5 MW (PLN, 2022).

Selain hilirisasi material baterai *lithium-ion*, pemerintah Indonesia tengah mengembangkan hilirisasi tembaga dan aluminium melalui industri kabel. Saat ini, terdapat 54 pabrik kabel listrik yang memiliki kapasitas produksi kabel konduktor tembaga dan aluminium masing-masing 450.000 dan 250.000 ton per tahun (Bisnis Indonesia, 2022). Kapasitas produksi domestik untuk segmen kabel PLTS belum diketahui walaupun kabel dengan spesifikasi PLTS sudah dapat ditemukan di pasaran, seperti kabel produksi PT. Jembo Cable Company Tbk, yang juga merupakan induk perusahaan salah satu pabrikan modul surya. Selain pabrikan kabel yang telah lama ada, setelah pembangunan sekitar 2 tahun, PT. LSAG Cable Indonesia (LSAGI) diresmikan pada awal tahun 2022. LSAGI merupakan *joint venture* (JV) antara produsen kabel global LS Cable & System Korea (LS C&S) dengan Artha Graha Network (AG Group). Produk kabel LSAGI diharapkan dapat mencapai nilai TKDN sebesar 80%. LS C&S sendiri telah membidik pangsa pasar kabel PLTS sejak tahun 2020 dan menjadi pemasok kabel untuk proyek PLTS terapung di negara asalnya (Ahn, 2022).

Untuk industri penyangga modul, material konstruksinya, seperti semen, baja, dan beton, telah dapat diproduksi dalam negeri dan telah dipasok untuk kebutuhan pembangunan gedung atau perumahan. Namun, belum ada industri yang secara khusus memproduksi penyangga modul dalam skala besar. Beberapa penyangga modul untuk PLTS atap sudah dapat diproduksi oleh pabrikan modul surya, sementara penyangga untuk sistem tertentu, seperti PLTS terapung yang membutuhkan komponen di bawah permukaan air, belum sepenuhnya dapat diproduksi di dalam negeri.

---

## 6. Peluang dan Tantangan Pengembangan Industri

Pengembangan industri komponen PLTS yang terintegrasi dari hulu ke hilir dapat menjadi salah satu cara untuk meningkatkan daya saing modul surya. Selain itu, keberadaan industri hulu dapat menjamin kebutuhan pasokan bahan baku dan meningkatkan kemandirian industri komponen PLTS dalam negeri. Akan tetapi, menciptakan rantai pasok domestik membutuhkan investasi yang besar, terutama untuk pengembangan industri hulu. Oleh karena itu, beberapa aspek, seperti sumber daya alam dan kondisi industri komponen PLTS global, perlu dipertimbangkan dalam menentukan tingkat keekonomian dan prioritas pengembangan.

### 6.1. Ketersediaan Bahan Baku untuk Pembuatan Komponen PLTS

Dari segi sumber daya alam untuk bahan baku, Indonesia memiliki tambang-tambang seperti kuarsa, perak, tembaga, alumunium, dan mineral lainnya yang tersebar di beberapa daerah meskipun belum terintegrasi dengan industri komponen PLTS di hilirnya. Sebagai bahan baku utama sel surya, pasir kuarsa merupakan salah satu material alam yang melimpah di Indonesia, dengan total sumber daya mencapai 17 miliar ton dan dapat ditemukan di beberapa daerah seperti Jawa (Tuban dan Rembang), Sumatera (Bangka Belitung), dan Kalimantan (Palangkaraya) (Sulaksono, 2017, Pengadaan, 2020). Namun, pasir kuarsa yang tersebar di sejumlah wilayah Indonesia memiliki kemurnian dan ciri khas yang berbeda-beda. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan yang lebih rinci mengenai potensi kuarsa dengan tingkat kemurnian yang sesuai kebutuhan industri komponen PLTS sehingga pengembangannya menjadi lebih efektif.

Setelah ditetapkannya Permendag No. 19 Tahun 2021 yang memberikan kemudahan ekspor untuk komoditas kuarsa, telah terjadi peningkatan minat investasi pada produk kuarsa, yaitu *low-iron silica sand*. Meskipun tidak secara langsung terkait dengan kebutuhan silika (SiO<sub>2</sub>) untuk industri komponen PLTS dalam negeri, peningkatan investasi tersebut telah memicu pertumbuhan ekosistem komoditas pasir kuarsa di Indonesia. Salah satu dampak dari peningkatan investasi tersebut adalah terbentuknya wadah bagi pelaku usaha tambang kuarsa bernama Himpunan Penambang Kuarsa Indonesia (HIPKI) pada Maret 2022. Menurut HIPKI, permintaan terhadap kuarsa, khususnya dari para investor di pasar RRT,

---

terus berdatangan dan mereka menawarkan harga tinggi untuk mendapatkan kuarsa dengan spesifikasi kandungan silika 99,5% (RRI, 2022). Selain itu, terdapat pengembangan pabrik pemurnian kuarsa yang sedang dalam tahap studi kelayakan, setelah beberapa investor berkomitmen untuk membangun smelter kuarsa di Indonesia dengan difasilitasi oleh HIPKI untuk aspek lahan dan perizinan.

Fasilitas pemurnian kuarsa berpotensi menjadi pemasok bahan mentah untuk industri polisilikon, yang rencana pembangunannya telah diutarakan oleh Presiden di awal tahun 2022 (SetKab RI, 2022). Akan tetapi, ditetapkannya Perpres No. 55 tahun 2022 mengenai pelimpahan kewenangan permohonan Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) dari Kementerian ESDM ke pemerintah provinsi dipandang akan menimbulkan tantangan dalam pengembangan industri kuarsa. Aturan tersebut, menurut pelaku usaha pertambangan kuarsa, dapat mengganggu iklim investasi pada industri kuarsa karena kewenangan perizinan dilimpahkan ke pemerintah provinsi tanpa memperhatikan kesiapan perangkat daerah.

Selain memiliki sumber daya kuarsa, Indonesia juga memiliki industri pengolahan bahan mentah lain yang dibutuhkan dalam rantai pasok komponen PLTS, seperti industri aluminium, tembaga, dan perak. Pada tahun 2020, Indonesia tercatat memiliki cadangan bauksit (biji aluminium), tembaga, dan perak sebesar 4%, 3%, dan 2% cadangan dunia (ESDM, 2020c, 2020b, 2020a). Tiga bahan baku tersebut adalah material pembuatan komponen modul surya, dengan rincian tersedia pada Tabel 5. Perlu diketahui bahwa meski beberapa komponen modul berkontribusi kecil terhadap bobot (massa) modul surya, komponen tersebut dapat bernilai sangat tinggi. Contohnya, harga global aluminium, yang berkisar USD2.5/kg, jauh lebih murah dibandingkan perak, yang berharga sekitar USD 800/kg. Bahkan, pada modul surya jenis silikon kristalin, perak dan silikon berkontribusi paling besar terhadap komponen biaya bahan baku, masing-masing mencapai 23% dan 45% (IEA, 2022). Saat ini, ketersediaan bahan baku tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan untuk kebutuhan industri komponen PLTS, salah satunya karena belum terbentuknya pasar dalam negeri.

Tabel 5. Material dasar komponen dan proporsi massanya dalam modul surya

Material Dasar Komponen Utama PLTS			
Material	Komponen Modul	Massa Komponen	Penggunaan Lain Pada Industri Sistem PLTS
Glass (berbahan silicon dan antimoni)	Kaca pelindung	70%	-
Silikon	Sel surya	3,56%	Bahan baku semikonduktor pada inverter
Perak	Kontak elektronik, <i>paste</i> , dan <i>busbar</i>	0,05%	-
Tembaga	Konektor, <i>PV</i> , <i>ribbons</i>	2,14%	Kabel sistem PLTS, inverter
Polimer EVA	Enkapsulasi	5,1%	-
Polyvinyl Fluoride	<i>Backsheet</i>	1,5%	-
Alumunium	<i>Frame</i> modul, konektor	18%	Penyangga modul, inverter, dan konektor
Bahan Metal lain (timah, timbal)	<i>Ribbon coating</i> , <i>soldering</i>	0,05%	-

Sumber: IEA (2022); Latunussa et al. (2016)

## 6.2. Pengembangan Industri Komponen Utama PLTS

Kondisi rantai pasok global perlu dijadikan tolok ukur dalam penentuan prioritas pengembangan industri komponen PLTS di Indonesia. Seperti yang dipaparkan pada bab 4, rantai pasok industri komponen utama PLTS, dari industri polisilikon hingga modul surya, telah didominasi oleh pabrikan asal RRT. Akan tetapi, setiap industri memiliki nilai, tingkat konsentrasi, dan tingkat rintangan masuk yang berbeda-beda. Seperti yang ditampilkan pada Tabel 6, industri modul surya memiliki tingkat rintangan masuk yang lebih rendah dibandingkan dengan industri hulu (polisilikon, ingot, dan wafer), tetapi memiliki nilai keekonomian rendah dan pangsa pasar yang terbagi ke banyak pabrikan. Sementara itu, industri sel surya memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan modul surya, tetapi dengan rintangan masuk dan konsentrasi pasar yang lebih rendah dibandingkan industri hulu. Pada 2021, sepuluh pabrikan terbesar sel surya hanya menguasai 59% dari pangsa pasar global, jauh lebih rendah dibandingkan dengan industri hulu yang mencapai lebih dari 80% (BloombergNEF, 2021b).

Tabel 6. Karakteristik industri rantai pasok global komponen utama PLTS

Karakteristik Rantai Suplai Industri Komponen PLTS						
	Jumlah Pabrik	Pabrik Terbesar	Konsentrasi Pasar (Negara)	Konsentrasi Pasar (Pabrik)	Rintangan Masuk	Nilai Industri
Polisilikon	77	Jerman	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Wafer	158	China	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Sel Surya	363	China	Tinggi	Sedang	Sedang	Tinggi
Modul Surya	617	China	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang

Sumber: BloombergNEF (2021b)

Selain karakteristik rantai pasok, pertimbangan lainnya dalam penentuan prioritas pembangunan industri adalah besar kebutuhan investasi dan lama waktu pembangunan industri. Pada tahun 2021, National Renewable Energy Laboratory (NREL) mengestimasi kebutuhan biaya investasi untuk membangun 1 GW pabrik polisilikon sebesar 110 sampai 140 juta USD, yang meliputi 59% biaya untuk peralatan, dengan waktu konstruksi antara tiga sampai empat tahun (U.S DOE, 2022). Sementara itu, APAMSI, yang juga aktif menggagas rencana pembangunan industri polisilikon di Indonesia, mengestimasi kebutuhan investasi sebesar 455 juta USD untuk pembangunan pabrik polisilikon dengan kapasitas produksi setara dengan 2,4 GW sel surya. Melalui pengolahan tersebut, nilai tambah pasir kuarsa diperkirakan dapat meningkat sekitar 40 kali (APAMSI, 2022).

Di industri hulu, kebutuhan investasi untuk pembangunan 1 GW pabrik wafer silikon monokristalin adalah 80-100 juta USD. Sementara itu, kebutuhan investasi untuk pembangunan manufaktur sel surya lebih bervariasi, berkisar 50-130 juta USD per GW, bergantung pada jenis teknologi sel yang diproduksi (U.S DOE, 2022). Perlu dicatat bahwa selain biaya pengadaan alat yang lebih mahal, U.S DOE mengindikasikan bahwa upah pekerja AS yang sekitar tiga kali lebih besar dibandingkan upah di RRT merupakan penyebab mahal biaya investasi pembangunan dan ongkos produksi pada industri komponen PLTS. Indonesia, yang berada di kawasan ASEAN, semestinya “diuntungkan” dalam pengembangan industri karena faktor biaya pengadaan alat dan upah pekerja yang relatif rendah. Di tahun 2022, biaya produksi modul surya di negara-negara ASEAN diperkirakan merupakan yang kedua terendah di dunia, yaitu sebesar 25 sen/Watt, atau hanya 5% lebih mahal dibandingkan dengan produksi RRT, dengan catatan harga bahan baku yang sama (IEA, 2022).

Tabel 7. Referensi kebutuhan investasi finansial dan waktu untuk pembangunan industri komponen utama PLTS

Referensi Pembangunan Industri Komponen Utama PLTS						
	Polisilikon		Ingot dan Wafer		Sel Surya	
	AS	ASEAN	AS	ASEAN	AS	ASEAN
Total kebutuhan investasi untuk 1 GWdc (juta USD)	110-140	~77	80-100	~75	50-130	~55
Untuk alat (juta USD)	65-80	-	60-70	-	30-100	-
Konstruksi pabrik (juta USD)	45-60	-	20-30	-	20-30	-
Kebutuhan waktu pembangunan hingga produksi	3-4 tahun		1-3 tahun		1-3 tahun	

Sumber: U.S DOE (2022); IEA (2022)

### 6.2.1. Peluang Industri Sel Surya Sebagai Prioritas Pengembangan

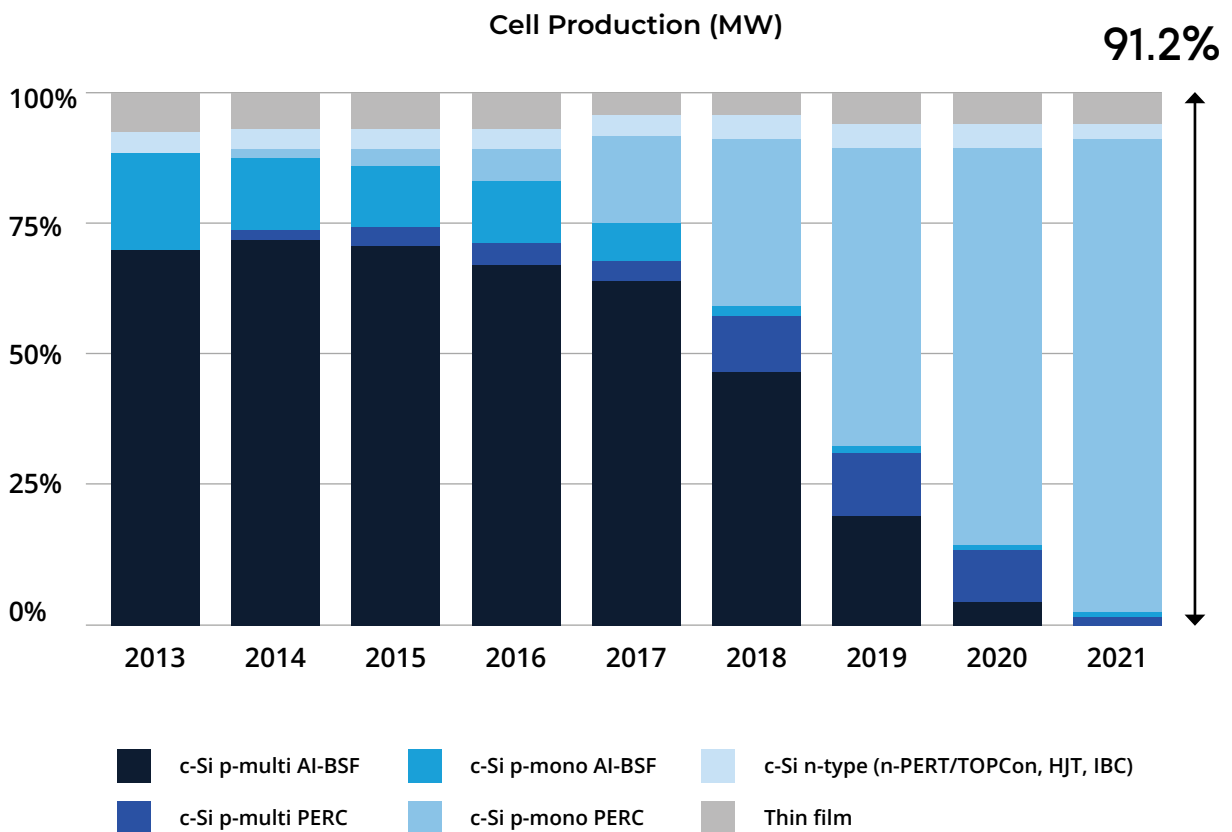
Mempertimbangkan beberapa faktor, seperti tingkat rintangan masuk, kebutuhan investasi dan waktu pembangunan, serta nilai industri, industri manufaktur sel surya perlu dijadikan prioritas dalam pengembangan rantai pasok industri komponen PLTS di Indonesia. Sel surya yang diproduksi di dalam negeri secara langsung dapat diintegrasikan dengan industri modul surya yang telah eksis di Indonesia. Dengan demikian, pengembangan industri sel surya berpotensi mengurangi biaya produksi modul surya karena hilangnya komponen biaya transportasi dan impor sel surya.

Pembangunan industri sel surya perlu meninjau tren permintaan teknologi sel surya saat ini. Umumnya, jenis teknologi dari modul surya ditentukan oleh proses fabrikasi sel, yang meliputi proses tambahan seperti *doping* dan *coating* pada silikon monokristalin. Proses-proses tersebut berperan besar dalam menentukan efisiensi dan masa hidup dari sel surya. Biaya produksi sel surya tertentu, terutama generasi terbaru, cenderung lebih mahal karena adanya proses tambahan dalam fabrikasinya. Akan tetapi, PLTS yang menggunakan sel surya berefisiensi tinggi akan memiliki biaya produksi listrik yang lebih rendah dibandingkan penggunaan teknologi lama.

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, modul surya lokal saat ini masih



banyak menggunakan teknologi sel surya dengan efisiensi rendah (berjenis BSF atau teknologi pendahulunya). Untuk menggantikannya, pabrikan dalam negeri membutuhkan pembaruan proses produksi dan berinvestasi pada peralatan produksi yang cukup mahal. Sementara pada pasar global, angka produksi sel dengan teknologi mono-PERC yang lebih efisien lebih dominan dalam 4 tahun terakhir. Tren tersebut telah diidentifikasi oleh pemerintah Indonesia sebagai acuan untuk pengembangan industri manufaktur sel surya dan menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan daya saing modul surya dalam negeri. Meskipun belum terealisasi, beberapa rencana pengembangan telah diupayakan, di antaranya melalui kerjasama JV BUMN Pertamina-LEN dengan produsen besar global untuk membangun pabrik sel surya berkapasitas 660 MWp per tahun (BUMN, 2021).



Gambar 6. Perubahan tren produksi teknologi sel surya global

Sumber: Green, M. (2022)

---

Pada tahun 2021, Jolywood, salah satu produsen sel dan modul surya berbasis teknologi TOPCon asal RRT, juga berencana untuk berinvestasi (60% total investasi) melalui skema JV dengan PT. LEN Agra Energy untuk membangun pabrik sel dan modul surya dengan kapasitas produksi 1 GW (Shaw, 2021). Pabrik dengan nilai investasi sebesar 91 juta USD tersebut akan dibangun di Jawa Barat (KBRI Beijing, 2021). Teknologi sel dan modul surya TOPCon diproyeksikan menjadi kompetitor dari teknologi sel mono-PERC, karena meskipun memiliki biaya yang 3,6%-5,5% lebih mahal, sel TOPCon memiliki efisiensi yang setidaknya 0,5% lebih tinggi (Bellini, 2022).

Teknologi TOPCon juga tengah dikembangkan oleh pemain global lain seperti LONGi, JinkoSolar, dan TrinaSolar (Shaffiee, 2022). Sebelumnya, tiga pabrikan tersebut berkontribusi sekitar 37% dari total produksi semua jenis modul surya global di tahun 2020 (U.S DOE, 2022). Realisasi proyek pembangunan industri sel surya tersebut akan memperkuat rantai pasok komponen PLTS dalam negeri. Kemampuan untuk memproduksi sel surya dalam negeri yang berkualitas dan memiliki tingkat efisiensi tinggi dapat meningkatkan daya saing modul dan membuka peluang untuk menembus pasar global.

Meskipun dapat berdampak positif pada perkembangan rantai pasok dalam negeri, industri fabrikasi sel, baik berbasis mono-PERC maupun TOPCon, masih akan bergantung pada impor produk wafer selama pasokan wafer belum dapat diproduksi pabrikan dalam negeri. Mengingat 97% dari pangsa pasar industri wafer global saat ini dikuasai oleh pabrikan asal RRT, pada saat terjadi hambatan pasokan atau kenaikan biaya pengangkutan wafer, seperti yang terjadi pada komoditas polisilikon di saat pandemi, industri modul dalam negeri akan terdampak. Harga sel dan modul surya dalam negeri akan sulit bersaing dengan produk asal RRT yang memiliki industri yang terintegrasi dari hulu ke hilir. Oleh karena itu, untuk menjamin pemenuhan pasokan bahan baku, strategi pengembangan industri hulu (polisilikon hingga wafer) yang terintegrasi dengan fasilitas produksi sel dan modul surya juga perlu dipersiapkan oleh pemerintah Indonesia.

Selain komponen sel surya, pengembangan industri komponen pendukung modul juga perlu didorong, terutama untuk komponen *tempered glass* dan *PV ribbon*, yang bahan bakunya dapat diperoleh di dalam negeri. Keberadaan kedua industri komponen pendukung modul tersebut, yang bahan bakunya berkontribusi sekitar

---

16-27% biaya modul (IEA, 2022), berpotensi meningkatkan daya saing harga modul domestik terhadap modul impor. Salah satu faktor belum adanya produsen domestik adalah masih rendahnya permintaan atas modul surya domestik sebagai pengguna dari produk komponen tersebut. Padahal, industri perlu kepastian pasar sebelum membangun fasilitas produksi. Sebagai contoh, industri kaca yang ada perlu memastikan produknya akan diserap pasar sebelum membuat jalur produksi kaca khusus untuk modul surya. Oleh karena itu, intervensi pemerintah melalui kebijakan dan insentif, baik finansial maupun non-finansial, serta penyiapan pasar dalam negeri diperlukan sebagai *enabler* pengembangan industri komponen.

### 6.2.2. Tantangan Pengembangan Industri Hulu

Industri hulu komponen utama PLTS memiliki tantangan yang relatif lebih besar dalam pengembangannya karena beberapa kondisi perlu dipenuhi, selain proses alih teknologi, seperti kemampuan penyediaan energi listrik murah serta skala ekonomi industri. Perlu dicatat bahwa proses pada industri hulu berkontribusi lebih dari 66% konsumsi listrik dalam rantai produksi komponen utama (modul surya). Industri polisilikon, pada khususnya, menggunakan sekitar 40% energi listrik karena proses industrinya meliputi pelelehan silika dengan temperatur tinggi pada sekitar 1.700°C (IEA, 2022).

Mengingat tingginya konsumsi energi listrik, pabrik polisilikon harus dibangun di lokasi yang dapat memasok listrik dengan tarif rendah agar dapat memiliki daya saing ekonomi. Sebagai gambaran, untuk memproduksi 1 kg polisilikon dibutuhkan setidaknya 50 kWh energi listrik. Saat harga pasar polisilikon rendah (sekitar USD 7/kg), dengan tarif dasar listrik industri berdaya menengah-tinggi di Indonesia yang berkisar 6-8 sen/kWh, komponen biaya produksi untuk listrik dapat mencapai 60% dari harga jual polisilikon. Sebagai pembandingan, biaya listrik rata-rata untuk memproduksi polisilikon di RRT berkisar 7,6 sen/kWh, 30% lebih rendah daripada rata-rata harga listrik industri global (IEA, 2022). Bahkan, Kemenperin mengestimasi bahwa pengembangan industri hulu di Indonesia memerlukan pasokan listrik di bawah 3 sen/kWh agar kompetitif (Purwanto, 2022). Sayangnya, pembangkit listrik

---

di Indonesia yang masih didominasi PLTU, selain berkontribusi besar terhadap GRK, tidak dapat memenuhi target biaya listrik 3 sen. LCOE<sup>2</sup> PLTU di Indonesia yang saat ini berkisar 5 sen hampir mustahil turun karena hampir 50% komponen LCOE PLTU berasal dari biaya batubara yang sudah “dimurahkan” dengan DMO<sup>3</sup>.

Selain itu, skala industri hulu yang dibangun setidaknya harus berkapasitas 2 GW (ekuivalen 6.000-10.000 ton polisilikon) untuk memiliki nilai keekonomian (Purwanto, 2022). Pabrik polisilikon yang rencananya akan dibangun di Jawa Tengah diproyeksikan memiliki kapasitas produksi 40 ribu ton per tahun dan memenuhi kriteria skala ekonomi. Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa belum ada kepastian bahwa produk industri hulu dapat diserap oleh pabrikan industri hilir dalam negeri dengan permintaan pasar domestik yang ada saat ini. Jika mengacu pada kapasitas proyek PLTS yang sudah ditender hingga 2022, permintaan PLTS baru mencapai 585 MWp (IESR, 2022).

Industri ingot dan industri wafer umumnya melebur menjadi satu jenis industri karena sebagian besar produksi ingot dibuat di dalam pabrik wafer. Kedua industri ini dapat dikatakan sebagai industri yang jika berdiri sendiri potensi keuntungannya lebih rendah dibandingkan industri polisilikon. Terlebih lagi, 97% pangsa pasarnya telah dikuasai oleh pabrikan asal RRT. Terkonsentrasinya produksi ingot dan wafer di RRT adalah buah dari dukungan besar Pemerintah RRT untuk melakukan ekspansi pada industri ini. Pada periode 2000-2010, tidak kurang dari 50 miliar USD telah diinvestasikan oleh pemerintah untuk kebutuhan pengembangan fasilitas industri tersebut (U.S DOE, 2022). Akibatnya, rintangan masuk ke industri ini menjadi tinggi dan sulit untuk memulai persaingan langsung saat ini. Sebagai contoh, Amerika Serikat telah mencoba untuk bersaing dengan pabrikan wafer RRT, salah satunya melalui pinjaman dana pemerintah sebesar 150 juta USD pada tahun 2011 untuk membangun pabrik wafer dengan sistem teknologi otomasi mutakhir. Namun, hingga tahun 2021, program ini belum juga terealisasi dan Amerika Serikat justru mengembangkan teknologi sel surya tandem dan tidak lagi berfokus pada wafer silikon monokristalin.

<sup>2</sup> *Levelized Cost of Electricity*: biaya rata-rata untuk menghasilkan energi listrik (/kWh). LCOE senilai 5 sen merupakan hasil perhitungan IESR.

<sup>3</sup> Domestic Market Obligation; DMO adalah kebijakan tentang pengutamaan pasokan batubara untuk kebutuhan dalam negeri (dengan ketetapan price cap). Di Indonesia price cap batubara adalah sebesar 70 USD/ton, sementara harga batubara global saat ini telah mencapai lebih dari 300 USD/ton.

---

Mempertimbangkan kondisi global saat ini, pembangunan industri ingot dan wafer adalah fase lanjutan pengembangan rantai pasok dalam negeri setelah beberapa syarat terpenuhi, seperti ketersediaan listrik murah (sekitar 3 sen/kWh) dan adanya industri vertikal domestik dengan skala tertentu (setidaknya 2 GW), baik industri polisilikon atau industri sel surya. Integrasi vertikal antar industri dapat membuat pabrikan wafer menjadi lebih ekonomis. Faktanya, di tahun 2020, setidaknya 41% wafer diproduksi oleh pabrikan yang juga memproduksi sel dan modul surya. Sementara itu, sebagian besar dari produsen sisanya juga memiliki kontrak jangka panjang dengan pabrikan polisilikon.

Indonesia dapat memanfaatkan tren global di mana beberapa pabrikan komponen PLTS, termasuk wafer, memilih untuk memproduksi produknya di luar negara asalnya. Sebagai contoh, JinkoSolar berencana membangun pabrik wafer dengan kapasitas 7 GW di Vietnam karena adanya kebijakan pelarangan atau pengenaan pajak impor terhadap komponen PLTS dari RRT di beberapa negara yang sedang mengembangkan industri dalam negeri. Selain itu, faktor lainnya adalah adanya isu pelanggaran HAM terhadap pekerja di RRT. Di sisi lain, salah satu pabrikan asal AS berencana membangun pabrik wafer berkapasitas 2 GW di India (yang upah pekerjanya relatif lebih murah) dengan dukungan pemerintah India (Bellini, 2021; Gupta, 2021). Jalur kerjasama melalui skema JV dengan produsen wafer global dapat membuka peluang Indonesia untuk mengembangkan industri wafer silikon dalam negeri.

Berdasarkan kondisi pasar komponen utama PLTS global dan dalam negeri saat ini, pengembangan industri dalam negeri dapat dibagi menjadi dua tahap, seperti ditampilkan pada Tabel 8. Pada tahap pertama, industri sel surya dalam negeri perlu dibangun bersamaan dengan upaya penciptaan pasar untuk modul surya domestik. Pembangunan industri sel surya diharapkan dapat membantu industri modul surya domestik memiliki daya saing untuk digunakan dalam instalasi PLTS di Indonesia. Selanjutnya, pada tahap kedua, kapasitas produksi sel dan modul surya dalam negeri harus dapat ditingkatkan seiring dengan pembangunan industri hulu. Dengan demikian, produk industri hulu dapat diserap oleh industri hilirnya di dalam negeri. Melalui dua tahap tersebut, Indonesia dapat memiliki kemandirian rantai pasok komponen PLTS untuk mencapai target NZE.

Tabel 8. Rekomendasi tahap pengembangan industri komponen PLTS di Indonesia

Tahapan Pengembangan Industri Komponen PLTS			
2022-2014		2025-2029	
Strategi tahap 1:	Target capaian tahap 1:	Strategi tahap 2:	Target capaian tahap 2:
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pembangunan industri sel surya</li> <li>2. Hilirisasi bahan baku menjadi komponen pendukung system PLTS</li> <li>3. Pembukaan pangsa pasar dalam negeri untuk komponen PLTS domestik (termasuk membantu pabrikan modul surya memperoleh Tier-1)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pabrikan modul surya domestik menggunakan sel surya produksi dalam negeri</li> <li>2. Komponen pendukung untuk sistem PLTS dapat diperoleh dari industri domestik</li> <li>3. Modul surya domestik memiliki daya saing dari segi harga, kualitas, dan <i>bankability</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Peningkatan kapasitas produksi sel dan modul surya</li> <li>2. Pengembangan industri hulu (polisilikon hingga wafer)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kemandirian rantai pasok komponen PLTS dalam pemenuhan target NZE</li> <li>2. Menjadi produsen komponen pendukung yang memiliki pangsa pasar global</li> </ol>

### 6.3. Pengembangan Industri Komponen Pendukung PLTS

Peningkatan kapasitas, efisiensi, dan skala ekonomi produksi pada industri komponen PLTS selama ini terfokus pada rantai pasok komponen utama (modul surya). Hal ini terbukti berhasil membuat teknologi PLTS menjadi pilihan sumber energi hijau yang murah. Akan tetapi, penurunan harga modul surya nampak telah mencapai titik jenuh, bahkan mengalami kenaikan dalam dua tahun terakhir. Dengan pangsa pasar produk modul surya telah terkonsolidasi, biaya komponen modul surya dalam proyek PLTS akan bergantung pada harga yang dipatok oleh segelintir produsen global, terutama mengingat harga modul surya domestik belum mampu bersaing dengan modul impor. Oleh karena itu, potensi penghematan dalam proyek PLTS juga perlu ditinjau dari biaya komponen pendukung yang berasal dari segmen industri yang berbeda-beda dan masing-masing relatif terfragmentasi.

Beberapa bahan baku pembuatan komponen pendukung, seperti yang telah disinggung pada Tabel 5, adalah bahan yang sama dengan yang dibutuhkan untuk membuat modul surya (seperti tembaga dan aluminium) dan telah dieksplorasi di Indonesia. Meskipun demikian, hilirisasi bahan baku tersebut belum ditujukan pada segmen industri komponen PLTS. Saat ini, pemasok komponen pendukung domestik umumnya adalah industri dengan lini bisnis yang terdiversifikasi. Potensi penghematan sistem PLTS melalui pengembangan industri komponen

---

pendukung dalam negeri perlu direalisasikan karena Indonesia memiliki urgensi dalam mencapai target pemasangan PLTS, serta penerapan TKDN yang mencakup komponen pendukung. Komponen yang dimaksud adalah inverter, baterai, kabel, dan penyangga modul yang saat ini memiliki total bobot TKDN barang antara 36-66% tergantung jenis sistem PLTS. Pengembangan yang dapat dilakukan pada industri eksisting antara lain melalui modularisasi, pra-perakitan, standarisasi, dan otomatisasi.

### 6.3.1. Industri Inverter

Di antara komponen pendukung sistem PLTS (selain baterai), inverter berkontribusi paling besar, yaitu sekitar 5,8% dari biaya sistem PLTS utilitas di Indonesia (IRENA, 2022). Akan tetapi, pengembangan industrinya tampak belum menjadi prioritas di Indonesia. Bahkan, komponen inverter belum memiliki nilai TKDN acuan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh unggulnya inverter yang diproduksi oleh pabrikan ternama asal Eropa atau Jepang yang mendominasi hak atas kekayaan intelektual (HAKI) komponen inverter. Meskipun industri inverter dapat dikategorikan sebagai industri modern yang sarat akan teknologi canggih, industri ini dinilai memiliki tingkat rintangan masuk yang relatif lebih rendah dibanding beberapa jenis industri pada rantai produksi komponen utama PLTS (Energy I-SPARK, n.d.; U.S DOE, 2022). Jika ditinjau dari kebutuhan instalasi PLTS di Indonesia yang akan didominasi oleh sistem PLTS skala utilitas, industri dalam negeri perlu memiliki kemampuan untuk memproduksi inverter jenis sentral.

Industri perakitan inverter berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia karena sebagian industri bahan baku inverter selain silikon *semiconductor-grade*, seperti industri tembaga, aluminium, dan baja, sudah tersedia. Sayangnya, bahan baku yang tersedia tersebut hanya merupakan penyusun komponen pasif inverter, seperti *casing* dan *wiring*. Sementara itu, komponen semikonduktor berbahan silikon adalah bagian terpenting inverter dan berkontribusi 48% dari total biaya material inverter standar (U.S DOE, 2022). Peluang pengembangan manufaktur inverter akan meningkat sejalan dengan realisasi industri pengolahan pasir kuarsa. Mengacu pada rencana pembangunan pabrik polisilikon berkapasitas 40 ribu ton di Jawa Tengah (SetKab RI, 2022), fasilitas produksi polisilikon *solar-grade* dengan tingkat kemurnian 6N (99,9999%) akan dikembangkan bersamaan dengan fasilitas untuk memproduksi polisilikon *semiconductor-grade* dengan kemurnian 11N.

---

Sementara itu, selain tantangan yang berkaitan dengan ketersediaan material, fasilitas produksi semikonduktor juga perlu dipersiapkan. Inverter yang diproduksi dalam negeri juga harus memiliki standarisasi agar memiliki daya saing dengan produk impor.

### 6.3.2. Industri Baterai

Urgensi pengembangan industri baterai saat ini cukup tinggi karena dua alasan, yaitu (1) adanya regulasi *grid code* (Permen ESDM No.20/2020) yang mengharuskan pemasangan 10% kapasitas *energy storage system* (ESS) untuk setiap *variable renewable energy* pada jaringan utilitas dan (2) untuk pemenuhan kebutuhan sistem PLTS *off-grid* dalam program de-dieselisasi. Seperti dijelaskan pada Bab 5, industri baterai dalam negeri sedang dalam proses pengembangan bersamaan dengan rencana proyek percontohan BESS oleh PLN. Meskipun demikian, masih dibutuhkan proyeksi yang merinci kebutuhan kapasitas BESS sebagai komponen pendukung PLTS sehingga pabrikan baterai, baik jenis *lithium-ion* maupun jenis lainnya, dapat mempersiapkan kapasitas produksinya.

Pengembangan industri BESS dalam negeri tidak hanya dapat berperan untuk memenuhi kebutuhan domestik, tapi juga berpotensi menjadikan Indonesia sebagai produsen global. Dari sisi industri sel baterai, IBC diproyeksikan akan memproduksi 140 GWh pada tahun 2030, dengan 50 GWh di antaranya akan diekspor, dengan catatan sebagian besar permintaan sel baterai tersebut berasal dari pasar kendaraan listrik. Rencana pemanfaatan BESS perlu dibuat oleh pemerintah untuk mendorong pabrikan baterai kendaraan listrik melakukan diversifikasi bisnis ke pasar BESS, yang menggunakan *battery packs* dengan komponen yang berbeda. Sama seperti sel surya yang membutuhkan komponen pendukung untuk dirakit menjadi modul, sistem BESS juga tersusun atas beberapa perangkat keras lain di luar sel baterai. Perangkat lain tersebut berkontribusi terhadap 18,5%-28,4% dari total biaya BESS, seperti terlihat pada Tabel 9.

Perlu dicatat bahwa sebagian pabrikan baterai *lithium-ion* yang dikembangkan di Indonesia berjenis *Nickel-Cobalt-Manganese* (NCM) yang berbahan baku mahal, tetapi sangat dibutuhkan untuk kendaraan listrik yang memerlukan baterai berdensitas energi tinggi. Berbeda dengan kebutuhan untuk kendaraan listrik,



penggunaan baterai berbahan baku yang relatif lebih murah dengan densitas energi lebih rendah, seperti *Lithium Iron Phosphate* (LFP), lebih cocok untuk aplikasi seperti BESS pendukung PLTS. Meskipun demikian, infrastruktur produksi baterai berbasis NCM untuk kendaraan listrik dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan industri sel baterai LFP untuk BESS, mengingat bahan bakunya pun dapat diperoleh dan diproses di Indonesia. Namun, untuk pengembangan industri baterai berjenis LFP, Indonesia akan harus bersaing dengan RRT yang merupakan produsen global terbesar saat ini.

Saat ini, pengembangan industri BESS perlu difokuskan untuk mengejar pemenuhan kebutuhan dalam negeri, contohnya untuk kebutuhan program de-dieselisasi PLN. Lebih dari 200 MW pembangkit diesel yang tersebar di jaringan listrik kecil dan terisolasi secara bertahap akan digantikan dengan sistem PLTS yang dilengkapi baterai. Dalam program tersebut, akan dibutuhkan BESS yang bersifat modular, seperti halnya *battery packs* untuk PLTS atap rumah tangga, tetapi dengan skala kapasitas lebih besar yang berkisar antara 30 kWh hingga 1 MWh. Oleh karena itu, meskipun belum mampu memproduksi sel baterai *lithium-ion* dengan kapasitas besar, pabrikan dalam negeri dapat terlebih dahulu mengembangkan kemampuan untuk merakit BESS *battery packs* untuk dapat memasok kebutuhan pasar dalam negeri jangka pendek hingga menengah.

Tabel 9. Komponen dan struktur biaya BESS

Komponen	Sistem 1 MW / 1 MWh	Sistem 1 MW / 4 MWh
Baterai Li-on	34,8%	54,7%
Inverter baterai	11,7%	4,7%
BoS (Structural dan elektrical)	16,7%	13,8%
Instalasi (Alat dan pekerja)	13,5%	6%
<i>EPC overhead, sales tax, dan biaya pengembang</i>	26,5%	21,7%
Total	100% (US\$600/kWh)	100% (US\$382/kWh)

Sumber: Deorah et al. (2020)

---

### 6.3.3. Industri Kabel dan Penyangga PLTS

Hilirisasi bahan konduktor (tembaga dan aluminium) belum diarahkan untuk segmentasi produk kabel sistem PLTS. Meskipun permintaan akan kabel sistem PLTS dalam negeri masih rendah, pengembangan industri kabel PLTS semestinya dapat didorong untuk menjangkau pangsa pasar global. Mengacu pada proyeksi instalasi PLTS global, kebutuhan penambahan kapasitas PLTS diperkirakan mencapai 630 GW per tahun pada 2030. Kuantitas bobot kabel yang dibutuhkan dalam sistem PLTS sangat bervariasi bergantung pada konfigurasi dan spesifikasi sistem. Sebagai gambaran, untuk PLTS berkapasitas 3 MW, dibutuhkan sekitar 20,4 km kabel tembaga dengan bobot 785 kg atau setara dengan sekitar 261 ton kabel/GW (Akšamović et al., 2022). Seperti dijelaskan pada Bab 5, pabrikan kabel di Indonesia telah memiliki kapasitas produksi cukup besar (450,000 ton kabel tembaga) dan seharusnya dapat menjadi modal untuk masuk dalam pasar kabel PLTS global. Standarisasi dan inovasi adalah dua aspek utama yang perlu didorong dalam pengembangan industri kabel PLTS. Sebagai contoh, selain memberi nilai tambah lewat berbagai standarisasi, beberapa produsen kabel PLTS global berinovasi dengan menjual produk kabel *pre-assembly* dengan konektor yang memudahkan proses pemasangan.

Sama halnya dengan komponen kabel, pelaku usaha dalam industri material penyangga untuk modul, seperti baja, perlu mengantisipasi permintaan dari pengembang PLTS. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan penyangga terapung. Media pengapung (*floaters*), atau sering disebut *pontoon*, adalah komponen ringan yang umumnya berbahan dasar *high density polyethylene* (HDPE). Karena volumenya yang besar dan tidak sepadan dengan massa, biaya pengiriman *floaters* yang diproduksi di luar negeri akan menjadi tinggi. Oleh karena itu, industri dalam negeri berpeluang untuk menguasai pasar komponen *floaters* untuk proyek-proyek PLTS terapung di Indonesia, dengan total kapasitas yang teridentifikasi mencapai lebih dari 500 MW<sup>4</sup>. Produk bermaterial HDPE, seperti botol detergen hingga pipa gas, mudah diperoleh di Indonesia dan diproduksi oleh beberapa pabrikan. Produsen pengolah material HDPE di Indonesia dapat bekerja sama dengan pengembang PLTS terapung yang umumnya memahami teknologi untuk memproduksi *floaters*.

<sup>4</sup> Termasuk beberapa proyek PLTS terapung yang sedang dalam proses konstruksi seperti PLTS Cirata (175 MW), yang telah diumumkan seperti PLTS Saguling (60 MW), dan yang direncanakan seperti PLTS Sei Tembesi (333 MW).

---

Selain melalui produsen produk HDPE yang telah ada, pengembangan industri *floaters* juga dapat dilakukan melalui model bisnis yang terintegrasi dengan fasilitas daur ulang limbah plastik. HDPE merupakan plastik jenis 2 yang merupakan plastik sekali pakai dan berkontribusi besar terhadap total limbah plastik di Indonesia, yang telah mencapai 11.6 juta ton pada tahun 2021 (CNN Indonesia, 2022). Pemanfaatan limbah HDPE untuk *floaters* berpotensi membantu penanggulangan masalah pengelolaan sampah plastik. Banyaknya HDPE yang dibutuhkan sebagai *floaters* beragam bergantung pada desainnya. Umumnya, setiap unit berbobot antara 7-10 kg dan mampu menopang modul surya standar yang terdiri dari 60 sel (berkapasitas sekitar 320-600 Wp) (Acharya & Devraj, 2019). Dengan kata lain, diperlukan sekitar 30 ton *floaters* HDPE untuk pemasangan 1 MWp modul surya yang dapat diolah dari limbah. Sebagai catatan tambahan, hingga kini, belum ada regulasi yang mengatur TKDN dari PLTS terapung, sehingga nilai TKDN dari penyangganya (termasuk *floaters*) mengacu pada TKDN penyangga PLTS *ground-mounting*, sehingga kemampuan industri dalam negeri memproduksi *floaters* menjadi penting.

Jika dibandingkan dengan rantai pasok industri komponen utama PLTS, industri komponen pendukung memiliki potensi pengembangan yang beragam. Namun, secara umum, industri-industri tersebut belum menjadikan komponen PLTS sebagai bisnis utamanya. Dengan adanya infrastruktur yang telah dan sedang dibangun, pabrikan baterai dan kabel di Indonesia berpeluang menjadi pemain global komponen pendukung PLTS. Pengembangan industri inverter, di sisi lain, menghadapi tantangan yang serupa dengan industri komponen utama, yaitu terkonsolidasinya pangsa pasar oleh pabrikan yang telah lama berinvestasi dalam R&D. Akan tetapi, mengingat inverter adalah komponen pendukung yang berkontribusi cukup besar dalam biaya sistem PLTS, pengembangan industrinya tetap diperlukan untuk kemandirian dan pemenuhan kebutuhan pasar dalam negeri. Selain itu, diperlukan juga pengembangan industri komponen penyangga untuk merespon kebutuhan dalam negeri, sehingga berpotensi mengurangi biaya proyek PLTS dan berdampak pada peningkatan permintaan instalasi PLTS.

Tabel 10. Penilaian terhadap kondisi dan potensi pengembangan industri komponen pendukung PLTS di Indonesia

Penilaian Terkait Industri Komponen Pendukung PLTS di Indonesia				
Jenis industri Komponen Pendukung	Ketersediaan Rantai Pasok	Urgensi Pengembangan	Tantangan Pengembangan	Potensi Pengembangan
Industri Inverter	Bahan baku komponen pasif tersedia, namun komponen semikonduktor belum bisa dapat diproduksi	Pabrikasi dalam negeri perlu memiliki kemampuan memproduksi inverter jenis sentral yang banyak digunakan untuk sistem PLTS skala utilitas	Komponen semikonduktor membutuhkan proses berteknologi tinggi dan membutuhkan investasi besar. Industri inverter juga didominasi pabrikan di negara maju yang menguasai HAKI	Kemampuan produksi dalam negeri berbagai jenis inverter dapat <b>meningkatkan kemandirian dalam negeri</b> dan berpotensi mengurangi biaya proyek PLTS
Industri Baterai	Industri baterai <i>lead-acid</i> sudah tersedia, sementara fasilitas produksi baterai Li-ion sedang dikembangkan (mulai dari smelter material)	Selain sel baterai yang dialokasikan untuk BESS, pabrikan dalam negeri perlu memiliki kemampuan produksi modul dan <i>battery packs</i>	Pabrikasi besar baterai global telah berinovasi dengan mengembangkan BESS dengan berbagai macam konfigurasi	Dengan hilirisasi sumber daya alam pada industri baterai hingga BESS, <b>Indonesia berpotensi menjadi pemasok komponen BESS global</b>
Industri Kabel	Terdapat banyak pabrikan kabel listrik dengan kapasitas produksi yang cukup besar	Kabel PLTS produksi dalam negeri harus memiliki standarisasi dan keunggulan (melalui inovasi) dibandingkan kabel impor	Permintaan yang relatif kecil dari segmen industri PLTS menyebabkan hilirisasi untuk segmen PLTS belum menjadi perhatian pabrikan kabel	Dengan hilirisasi sumber daya alam pada industri kabel untuk segmen industri PLTS, <b>Indonesia berpotensi menjadi pemasok kabel PLTS global</b>
Industri Penyanga Modul	Sebagian besar bahan baku penyangga dapat terpenuhi di dalam negeri, penyangga umumnya disediakan oleh pabrikan modul surya	Produsen penyangga harus mengikuti tren permintaan akan penyangga seperti meningkatnya proyek PLTS terapung	Beberapa komponen penyangga khususnya untuk sistem PLTS terapung kapasitas produksinya masih terbatas.	Kemampuan produksi dalam negeri berbagai jenis penyangga modul dapat <b>meningkatkan kemandirian dalam negeri</b> dan berpotensi mengurangi biaya proyek PLTS

---

## 7. Pembelajaran dari Negara Pengembang Industri Komponen PLTS

### 7.1. Studi Kasus

#### 7.1.1. RRT

Pabrikan asal RRT berhasil mendominasi rantai pasok komponen PLTS dalam waktu yang relatif singkat berkat iklim usaha yang mampu mendorong pengembangan industri manufaktur sel dan modul surya domestik berorientasi ekspor. Meskipun RRT adalah negara yang memiliki karakteristik khas yang tidak dapat disamakan dengan Indonesia, seperti dari sistem pemerintahan dan kondisi ekonomi, faktor-faktor yang berperan dalam berkembangnya industri komponen PLTS di sana dapat menjadi pembelajaran untuk pengembangan industri di Indonesia. Faktor-faktor tersebut di antaranya adalah:

1. Kebijakan Pemerintah Pusat dan Akses Finansial untuk Manufaktur Sel dan Modul Surya

Pemerintah RRT menginisiasi pembangunan industri sel dan modul surya dengan memasukkannya ke dalam rencana lima tahunan periode 2001-2005. Dalam dokumen "*Tenth Five-Year Plan (FYP) for New- and Renewable Energy-Industry Development*", pemerintah RRT secara spesifik menargetkan produksi sel dan modul surya dengan kapasitas 15 MW. Pencanaan target tersebut berkaitan dengan agenda mempromosikan energi baru dan terbarukan, termasuk energi surya, yang juga terdapat dalam FYP. Tujuan agenda tersebut adalah pemenuhan kebutuhan energi jangka pendek dan pembangunan berkelanjutan jangka panjang, termasuk penyediaan energi untuk kawasan rural (*off-grid*) yang sekaligus berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim.

Realisasi yang berhasil dicapai ternyata jauh lebih tinggi dibandingkan dengan target tersebut, dengan capaian produksi sebesar 500 MW di tahun 2005 (Gandenberger, 2018). Dari capaian tersebut, industri sel dan modul surya kembali masuk dalam FYP ke-11 (2006-2010) dengan penekanan pada penelitian dan pengembangan untuk peningkatan produktivitas dan rantai pasok domestik.

---

Pada periode yang sama, pemerintah pusat RRT juga menetapkan industri sel dan modul surya sebagai salah satu industri kunci pada "*Catalogue of Chinese High-Technology Products for Export*" di tahun 2006. Penetapan tersebut bertujuan untuk memberikan insentif kepada industri sel dan modul surya dalam bentuk pembiayaan R&D, kredit ekspor, dan berbagai stimulus lainnya (Wen et al., 2021; Zhang et al., 2014).

Sejak saat itu, industri manufaktur sel dan modul surya RRT tumbuh pesat dengan kebijakan berorientasi ekspor. Untuk pertama kalinya, produksi sel dan modul surya RRT berada di peringkat teratas dengan kapasitas mencapai lebih dari 2,6 GW atau 27% dari kapasitas global di tahun 2008 (Tan, 2021). Akan tetapi, kapasitas produksi yang tidak diimbangi dengan proyek instalasi dalam negeri menyebabkan masalah *oversupply* pada industri modul surya RRT.

Pada perkembangannya, kebijakan pemerintah pusat tidak lagi berfokus pada pemberian insentif kepada sektor manufaktur, melainkan beralih kepada pengembangan proyek PLTS dalam negeri dengan tujuan menyerap kelebihan produksi dari industri sel dan modul surya. Salah satu kebijakan yang dimaksud adalah penerapan *feed-in-tariff* (FiT) di tahun 2011. Sementara itu, pemberian insentif pada industri lebih banyak dilakukan oleh pemerintah daerah.

Selain penetapan target oleh pemerintah pusat, pemberian akses pendanaan menjadi kunci dari meningkatnya kapasitas produksi pabrikan sel dan modul surya asal RRT. Misalnya, pada saat dunia dilanda krisis finansial di tahun 2008, RRT yang terhindar dari resesi dapat memberi akses finansial pada pabrikan komponen PLTS. Akibatnya, terjadi tren peningkatan produksi yang tinggi dari 2,6 GW di tahun 2008 menjadi 8 GW di tahun 2010 (Tan, 2021). Setelahnya, industri sel dan modul asal RRT terus mendapatkan akses finansial melalui bantuan dari pemerintah pusat. Salah satunya adalah pemberian kredit melalui *China Development Bank* (CDC) untuk manufaktur sel dan modul surya antara tahun 2009 dan 2010 sebesar 30 miliar USD, yang dilanjutkan pada periode 2010 dan 2013 dengan total dana sebesar 47,3 miliar USD (Allen et al., 2021).

---

## 2. Peran Pemerintah Daerah

Besarnya perhatian pemerintah pusat RRT terhadap pengembangan industri sel dan modul surya mendorong otoritas di daerah (provinsi, kota, dan otoritas di bawahnya) untuk turut berperan dalam kemajuan industri. Hal ini tidak terlepas dari sistem pemerintahan di RRT yang memberi wewenang kepada pemerintah daerah untuk menerapkan peraturan yang lebih rinci atau melakukan lobi terhadap pemerintah pusat untuk membuat kebijakan yang lebih sesuai dengan kondisi ekonomi lokal. Pemerintah daerah juga dapat memberikan berbagai bentuk insentif kepada pabrikan komponen PLTS. Selain itu, tidak sedikit pemerintah daerah yang meminta diaspora yang memiliki keahlian di bidang PLTS untuk kembali ke daerahnya dan membangun pabrik baru.

Bentuk-bentuk insentif yang diberikan pemerintah daerah antara lain adalah (Corwin & Johnson, 2019):

- **Pemberian Subsidi untuk Pembangunan Pabrik**  
Beberapa contoh pabrikan RRT yang pembangunannya didanai oleh pemerintah daerah adalah Suntech dan LDK Solar. Suntech menerima 6 juta USD dari pemerintah daerah Wuxi di tahun 2001 dan LDK Solar mendapat dana sebesar 30,8 juta USD dari pemerintah daerah Xinyu di tahun 2005. Selain dalam bentuk kas, beberapa pemerintah daerah juga memberi subsidi pada lahan yang akan digunakan sebagai fasilitas produksi.
- **Bantuan Operasional**  
Bentuk dari bantuan operasional yang diberikan pemerintah daerah meliputi suntikan dana, pinjaman lunak, penghapusan pajak, subsidi listrik, bantuan finansial dan sosial untuk pekerja, hingga fasilitas riset.
- **Dana Talangan (*bailout*) untuk Manufaktur yang Merugi**  
Pada kasus di mana pabrikan mengalami kerugian finansial yang besar, beberapa pemerintah daerah dapat memberikan dana talangan demi mempertahankan keberadaan pabrikan tersebut dan menghindari kerugian investasi yang lebih besar dari berhenti beroperasinya pabrik. Sebagai contoh, Suntech dan LDK Solar pernah menerima bantuan talangan dana dari pemerintah daerah, masing-masing sebesar 180 dan 461,5 juta USD pada periode 2012 sampai 2013.

---

Terdapat beberapa alasan yang melatarbelakangi dukungan pemerintah daerah dalam mengembangkan industri sel dan modul surya, di antaranya adalah untuk peningkatan pendapatan daerah melalui pajak, penyerapan tenaga kerja lokal, dan adanya kepentingan pejabat daerah setempat memperoleh kredit untuk kenaikan jabatan (Corwin & Johnson, 2019). Fokus pemerintah daerah dalam peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) dan pendapatan pajak, melalui ekspansi industri manufaktur, sering kali tidak sejalan dengan kebijakan pemerintah pusat, mengakibatkan masalah *oversupply* terus berlanjut.

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pondasi pengembangan industri komponen PLTS di RRT dituangkan dalam kebijakan pemerintah pusat yang mengatur target pengembangan tingkat nasional melalui rencana lima tahunan. Akan tetapi, strategi dalam mempromosikan pengembangan industri sel dan modul surya di RRT pada tahap awal lebih berorientasi ekspor dibandingkan pemenuhan pasokan untuk pasar domestik. Di sisi lain, pemerintah daerah memiliki peran penting dalam keberhasilan pabrikan sel dan modul surya RRT menguasai pasar global. Dengan wewenangnya, tiap-tiap daerah memberikan berbagai insentif tambahan untuk keperluan ekspansi industri manufaktur, terutama setelah insentif pemerintah pusat lebih difokuskan untuk pengembangan proyek instalasi PLTS dalam negeri.

### 7.1.2. India

India adalah negara dengan peningkatan instalasi PLTS yang pesat dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan pengembangan industri dalam negerinya. Berbeda dengan RRT, pengembangan industri di India berjalan seiring dengan tingginya permintaan untuk proyek-proyek dalam negeri.

Pada tahun 2010, India memulai program percepatan instalasi PLTS yang bernama *National Solar Mission*, salah satu dari delapan program nasional yang termasuk dalam *India's National Action Plan on Climate Change* (NAPCC). Program ini menargetkan peningkatan kapasitas terpasang PLTS dari 0 ke 20 GW pada tahun 2022. Dari sisi manufaktur, program ini juga menargetkan peningkatan kapasitas produksi hingga 4,5 GW pada tahun 2020 untuk memastikan penggunaan peralatan buatan dalam negeri tetap dalam porsi yang besar. Untuk meningkatkan permintaan, kebijakan yang diimplementasikan adalah penetapan serangkaian



tender untuk kontrak pasokan listrik khusus untuk pengembang surya. Dari sisi manufaktur, pemerintah India mengimplementasikan peraturan TKDN.

Tabel 11. Peraturan TKDN terkait proyek PLTS di India

Teknologi	Fase 1 (2010 - 2012)		Fase 1 (2013 - 2017)
	Gelombang 1	Gelombang 2	Gelombang 1-4
Silikon Kristalin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modul surya yang diproduksi lokal</li> <li>Sel surya diperbolehkan impor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modul dan sel surya yang diproduksi lokal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kategori TKDN: Modul dan sel surya yang diproduksi lokal</li> <li>Kategori terbuka: tidak ada persyaratan</li> </ul>
<i>Thin-film</i>	Diperbolehkan impor		

Peraturan TKDN ini mensyaratkan pengembang untuk menggunakan produk dalam negeri sesuai kadar yang telah ditentukan dalam penawaran proyek mereka. Persyaratan ini harus dipenuhi oleh pengembang untuk dapat terkualifikasi dalam tender. Pada fase pertama (2010 - 2012), peraturan TKDN hanya berlaku untuk teknologi silikon kristalin (c-Si). Program ini berusaha untuk meningkatkan kapasitas produksi rantai pasok c-Si, dimulai dengan segmen yang dianggap paling mudah untuk dipenuhi dan sudah tersedia di dalam negeri yaitu perakitan modul surya. Pada gelombang pertama, proyek hanya perlu menggunakan modul buatan lokal, sedangkan sel-sel yang digunakan dalam modul-modul tersebut diperbolehkan untuk impor. Pada gelombang kedua - fase pertama, pengembang harus menggunakan modul dan sel buatan India. Selain itu, pada fase pertama, aturan TKDN tidak diterapkan pada proyek yang menggunakan teknologi *thin-film*.

Peraturan TKDN pada fase pertama lebih menguntungkan bagi teknologi *thin-film* karena terbebas dari persyaratan TKDN, cenderung lebih murah, dan dapat dibeli oleh pengembang dengan harga terjangkau berkat pembiayaan internasional berbiaya rendah. First Solar, produsen peralatan *thin-film* terbesar di dunia yang berbasis di Amerika Serikat, melihat peluang di India dan memanfaatkan dukungan dari U.S. Export-Import Bank dan U.S. Overseas Private Investment Corporation. Kedua lembaga kredit Amerika Serikat tersebut menawarkan pinjaman dengan suku bunga rendah kepada pengembang India untuk membeli peralatan First

---

Solar untuk proyek tersebut. Tingkat suku bunga dilaporkan sekitar 3%. Sebagai perbandingan, bank lokal menawarkan tingkat suku bunga setinggi 14%. Pada 2010-11, U.S. Export-Import Bank meminjamkan USD 248 juta kepada perusahaan India untuk membeli modul *thin-film*. India hanya memiliki kapasitas produksi yang kecil untuk modul *thin-film* pada saat itu. Sementara itu, pengembang yang menggunakan teknologi c-Si lokal tidak dapat mengakses pembiayaan berbunga rendah dari Amerika Serikat. Akibatnya, instalasi PLTS berjenis *thin-film* di fase pertama mencapai 59%. Sebagai perbandingan, pangsa penggunaan modul *thin-film* secara global selama periode tersebut adalah sekitar 14%. Kemudian, pada fase selanjutnya, India juga menerapkan aturan TKDN pada teknologi *thin-film*.

Pada fase kedua, peraturan terkait TKDN diperketat. Akan tetapi, untuk memberikan pengembang fleksibilitas dan kemudahan, pemerintah menawarkan dua kategori proyek yang bisa diikuti, yaitu TKDN dan terbuka. Untuk kategori TKDN, pengembang harus memenuhi persyaratan penggunaan modul dan sel surya lokal. Sedangkan untuk kategori terbuka, tidak ada persyaratan untuk penggunaan modul dan sel lokal. Kedua kategori tersebut mendapatkan jatah kapasitas instalasi PLTS yang sama. Selain itu, kedua kategori tersebut berlaku untuk kedua jenis teknologi, yaitu c-Si dan *thin-film*.

Program *National Solar Mission* dan TKDN yang menyertainya mampu mendorong pertumbuhan kapasitas produksi manufaktur surya di India. India saat ini memiliki peningkatan yang signifikan dalam produksi modul dan sel surya. Namun, India masih mengalami kekurangan pada kapasitas produksi di industri hulu seperti industri polisilikon, ingot, atau wafer.

Pada tahun 2019, pemerintah India melalui *Solar Energy Corporation of India (SECI)* mencanangkan program tender baru, yang mengharuskan pembangunan PLTS untuk terhubung dengan industri manufaktur. Kapasitas minimum yang bisa diajukan adalah 1 GW PLTS terpasang dengan kapasitas produksi manufaktur sebesar 500 MW. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas terpasang PLTS serta kapasitas produksi komponen PLTS secara bersama-sama. Cakupan pekerjaan meliputi pembangunan manufaktur, PLTS, serta transmisi sampai titik interkoneksi.

Untuk membenahi permasalahan kurangnya kapasitas produksi pada industri hulu, pada tahun 2021, pemerintah India mencanangkan skema *Production-Linked*

---

*Incentive* (PLI). Dalam skema ini, insentif sebesar 1,54 miliar USD akan dialokasikan untuk perusahaan manufaktur yang mampu membangun produksi polisikon, wafer, sel, dan modul yang terintegrasi. Beberapa kriteria untuk mendapatkan pembagian insentif yang besar adalah efisiensi modul yang diproduksi serta penggunaan bahan baku lokal. Pada Februari 2022, Indian Renewable Development Agency (IREDA) mengumumkan bahwa ada 18 pabrikan dengan total kapasitas produksi sebesar 54,8 GW yang mengajukan proposal dalam tender ini. Di antaranya, terdapat lima pabrikan, dengan total kapasitas produksi 19 GW, yang mengajukan proposal untuk membangun fasilitas produksi terintegrasi dari polisikon sampai modul.

### **7.1.3. Malaysia**

Salah satu negara di Asia Tenggara yang mempunyai perkembangan positif pada industri komponen PLTS adalah Malaysia, yang dikenal akan kemampuannya memproduksi dan merakit komponen PLTS. Pada 2015, Malaysia merupakan eksportir modul surya terbesar ketiga di dunia dengan kapasitas produksi sebesar 51 MW, yang termasuk cukup besar pada saat itu (SEDA, 2016).

Perkembangan positif tersebut dapat terjadi karena implementasi kebijakan yang mendukung riset, pengembangan, dan pendidikan di bidang manufaktur industri komponen PLTS. Kebijakan-kebijakan tersebut terangkum dalam "*Malaysian National Renewable Energy Policy*" dan "*Malaysia National Renewable Energy Plan: Malaysian Action*". Malaysia juga fokus untuk mendukung inovasi teknologi melalui pendanaan yang cukup dan peningkatan kualitas sumber daya manusia. Upaya-upaya untuk mendukung terlaksananya hal tersebut dilakukan melalui koordinasi dengan berbagai kementerian seperti kementerian keuangan, pendidikan, dan sumber daya manusia (IRENA, 2018).

Beberapa upaya tersebut meliputi:

- Pengintegrasian pengetahuan mengenai energi baru dan terbarukan ke dalam kurikulum pendidikan vokasi dan tersier. Hal ini memerlukan kolaborasi dengan kementerian terkait dan sertifikasi program pelatihan sesuai dengan "*National Skills Development Act*",
- Pengembangan institusi kepelatihan dan pusat pengembangan yang memenuhi standar kualitas internasional di berbagai universitas sebagai upaya peningkatan pendidikan tinggi di bidang energi baru dan terbarukan,

- 
- Penyediaan dukungan secara finansial, termasuk subsidi terhadap pelatihan teknis yang akan diberikan kepada individu-individu yang telah menyelesaikan pelatihan dan bantuan dana ke universitas sehingga biaya perkuliahan menjadi terjangkau.

Berkaitan dengan infrastruktur, sejak tahun 1996, Malaysia telah mempunyai *Kulim Hi-Tech Park* yang merupakan pusat industri teknologi maju di Malaysia. Infrastruktur yang tepat, bandara yang berkembang dengan baik, serta ketersediaan jaringan jalan dan pelabuhan merupakan faktor-faktor penentu yang membuat *Kulim Hi-Tech Park* dapat menarik investasi asing untuk membangun pabrik di sana.

Langkah penting lain yang dilakukan Pemerintah Malaysia adalah pemberian insentif pajak yang menarik untuk investor. Insentif pajak yang mampu menarik investor asing untuk memindahkan produksi mereka ke Malaysia, antara lain:

- Pembebasan pajak penghasilan hingga 100% dari pendapatan resmi selama 10 tahun untuk industri berstatus perintis; atau
- Tunjangan pajak investasi sebesar 100% untuk *capital expenditure* yang memenuhi syarat dalam jangka waktu 5 tahun; dan
- Pembebasan bea masuk dan pajak penjualan terhadap peralatan yang digunakan untuk menghasilkan energi dari sumber terbarukan yang tidak diproduksi secara lokal dan pembebasan pajak penjualan untuk peralatan yang dibeli dari produsen lokal.

Kebijakan-kebijakan tersebut telah berdampak positif terhadap perkembangan ekosistem industri PLTS di Malaysia. Dampak lanjutannya adalah peningkatan lapangan kerja di sektor tersebut. Pada 2016, terdapat 27 ribu pekerjaan di industri PLTS, dengan 60% dari jumlah tersebut berasal dari industri modul surya lokal. Pada tahun yang sama, Malaysia juga berhasil menarik investasi sebesar 400 juta USD untuk industri manufaktur komponen PLTS (IRENA, 2018).

---

## 8. Kesimpulan dan Rekomendasi

Pada rantai pasok komponen utama PLTS, Indonesia baru memiliki beberapa pabrikan perakitan modul surya dengan total kapasitas produksi sebesar 1,6 GWp per tahun di tahun 2022. Produk modul surya dalam negeri saat ini masih tertinggal dari segi daya saing harga, kualitas, dan *bankability* dibandingkan modul impor. Pada beberapa proyek PLTS skala besar (skala utilitas), modul produksi dalam negeri juga belum menjadi pilihan utama. Harga yang lebih mahal merupakan salah satu dampak dari ketergantungan Indonesia pada pasokan komponen PLTS yang belum dapat diproduksi industri domestik. Oleh karena itu, pengembangan rantai pasok komponen PLTS dalam negeri merupakan langkah yang dapat diambil untuk menurunkan ongkos produksi dan meningkatkan daya saing modul surya domestik.

Pengembangan rantai pasok industri membutuhkan investasi yang besar dan memiliki resiko yang tinggi. Akan tetapi, kemandirian Indonesia dalam memenuhi permintaan komponen PLTS adalah keharusan agar target NZE dapat tercapai. Kondisi rantai pasok komponen PLTS global yang terkonsolidasi pada satu negara merupakan ancaman bagi keberlangsungan transisi energi di Indonesia karena gangguan rantai pasok dapat memberatkan pemenuhan target secara finansial. Terlebih dalam jangka panjang, Indonesia menargetkan penambahan kapasitas PLTS hingga 361 GW. Untuk itu, pemerintah bersama pelaku usaha perlu mendorong realisasi pengembangan industri, salah satunya dalam proses alih teknologi dan pendanaan, mengingat Indonesia telah memiliki keunggulan dari segi ketersediaan SDA dan SDM.

Prioritas pengembangan industri komponen PLTS perlu mempertimbangkan kondisi eksisting di Indonesia dan rantai pasok global. Industri pembuatan sel surya merupakan jenis industri yang keberadaannya secara cepat dapat memberi dampak positif pada rantai pasok dalam negeri. Selain rintangan masuk pengembangannya relatif rendah, produk sel surya dapat langsung terintegrasi dengan industri perakitan modul yang telah ada. Teknik produksi dalam industri sel surya juga dapat menentukan jenis sel dan kualitasnya (tingkat efisiensi), sehingga pembangunan industri sel surya berefisiensi tinggi, jika diiringi dengan pembaruan perangkat perakitan modul surya, dapat turut meningkatkan kualitas modul produksi dalam negeri. Di sisi lain, pengembangan industri hulu harus memenuhi beberapa prasyarat, seperti ketersediaan energi listrik murah dan skala keekonomian, agar nantinya dapat beroperasi secara berkelanjutan.

---

Permintaan pasar dalam negeri atas komponen PLTS belum cukup tinggi untuk mendorong pengembangan industri domestik komponen PLTS. Oleh karena itu, selain mengupayakan penambahan kuota PLTS pada sistem kelistrikan, regulasi pemerintah terkait penyiapan pasar harus lebih banyak mengakomodasi pabrikan-pabrikan lokal, contohnya dengan mencanangkan proyek PLTS dengan tujuan membantu modul surya domestik memperoleh predikat *tier-1*. Sementara itu, permintaan pasar domestik dapat didorong lewat kesiapan industri dalam negeri memproduksi komponen pendukung, seperti komponen inverter, baterai, kabel, dan penyangga, di mana keberadaan pasokan lokal berpotensi menekan biaya proyek PLTS dan pada akhirnya permintaan maupun kapasitas PLTS di Indonesia dapat tumbuh lebih cepat.

Berdasarkan kondisi eksisting di Indonesia dan dunia saat ini, beberapa strategi dapat diterapkan untuk pengembangan industri komponen PLTS, antara lain:

- **Mempercepat pembangunan industri sel surya melalui kerjasama dengan produsen global**

Industri sel surya dapat dibangun secara terintegrasi dan produknya dapat diserap oleh industri perakitan modul yang telah ada di Indonesia. Kemampuan memproduksi sel surya berefisiensi tinggi dengan biaya yang kompetitif dengan sel impor juga akan berpengaruh pada peningkatan kualitas dan daya saing modul surya di Indonesia. Dalam realisasi pembangunannya, dibutuhkan kerjasama antara pemerintah dan pelaku usaha dalam hal investasi dan alih teknologi, misalnya dengan membentuk konsorsium lokal dan menggandeng produsen global dalam skema JV. Pemberian insentif pajak, seperti yang dilakukan beberapa negara seperti Malaysia, juga dapat dipertimbangkan untuk menarik investor asing dalam pembangunan pabrik sel surya di Indonesia.

- **Mendorong peningkatan daya saing modul surya dalam negeri melalui alih teknologi dan pengembangan pasar domestik**

Rendahnya daya saing modul surya dalam negeri berdampak pada kesulitan mengakses pendanaan bagi proyek-proyek PLTS yang menggunakan modul surya dalam negeri. Peningkatan kualitas dan ketersediaan (*delivery time*) dapat dilakukan pemerintah dengan memfasilitasi alih teknologi dan automasi industri. Sementara itu, permasalahan pendanaan juga dapat dipermudah jika terdapat pabrikan lokal yang mendapatkan sertifikasi *tier-1*. Akan tetapi, untuk mendapatkan predikat

---

*tier-1*, pabrikan domestik harus memasok modul untuk enam proyek dengan pendanaan yang berbeda. Salah satu upaya yang dapat dipertimbangkan adalah merancang skema tender terpisah untuk PLTS dengan komponen TKDN, contohnya pengkhususan pada proyek PLTS bangunan milik pemerintah, sehingga aturan TKDN tidak menjadi penghambat bagi pembukaan pasar domestik.

- Mendorong pengembangan hilirisasi komponen pendukung dengan insentif fiskal selama permintaan dalam negeri masih rendah

Pengembangan beberapa industri komponen pendukung, seperti inverter, baterai, kabel, dan penyangga modul berpotensi menurunkan biaya proyek sistem PLTS dan dapat berdampak pada meningkatnya permintaan instalasi PLTS dalam negeri. Selain itu, untuk komponen baterai dan kabel, dengan keunggulan sumber daya alam dan infrastruktur yang ada, industri semestinya dapat berekspansi dan membidik pasar global pada segmen penggunaan di PLTS. Akan tetapi, dibutuhkan insentif dari pemerintah, terutama dalam hal permodalan, agar memicu pabrikan untuk menyiapkan jalur produksi komponen PLTS dengan skala yang besar.

- Mempersiapkan prasyarat pengembangan industri hulu komponen utama

Tanpa terpenuhinya beberapa syarat utama, seperti pasokan listrik murah, skala keekonomian, dan keberadaan industri vertikal, industri hulu belum memiliki nilai keekonomian. Oleh karena itu, pembangunan industri hulu perlu dilakukan secara simultan setelah permintaan pasar dan kapasitas produksi industri hilir domestik terlebih dahulu ditingkatkan. Contoh upaya yang dapat dilakukan untuk pengembangan industri hulu adalah melalui tender PLTS skala besar untuk dibangun pada kawasan industri, di mana pemenangnya diharuskan membangun fasilitas produksi komponen PLTS terintegrasi, seperti yang dilakukan India.

- 
- Memperbarui peta jalan pengembangan industri yang lebih sesuai dengan perkembangan kondisi domestik dan global saat ini disertai percepatan peningkatan permintaan instalasi PLTS

Pengembangan industri PLTS yang berjalan lambat saat ini disebabkan ketidaksiapan industri dan pasar dalam negeri. Penerapan TKDN yang tinggi tidak akan efektif jika tanpa disertai daya saing produk (harga, kualitas, dan *bankability*) dan justru membuat pertumbuhan instalasi PLTS terhambat. Akibatnya, terjadi siklus negatif tidak berkembangnya permintaan pasar dan kapasitas produksi industri dalam negeri. Penguatan industri dalam negeri harus dilakukan secara bertahap dan berkelanjutan dengan mempertimbangkan kondisi global dan domestik. Mempertimbangkan kondisi pasar dalam negeri saat ini, sebelum merencanakan pembangunan industri hulu, permintaan pasar dalam negeri harus terlebih dahulu diperkuat.

- Meningkatkan kualitas SDM melalui pelatihan teknis dan integrasi ke dalam sistem pendidikan

Peningkatan kapasitas produksi dan modernisasi manufaktur harus diiringi dengan kualitas sumber daya manusia yang memadai. Upah pekerja yang relatif rendah di negara-negara ASEAN menjadi salah satu daya tarik investor membangun pabriknya di luar negeri. Agar lebih berdaya saing, pemerintah perlu memfasilitasi pengembangan kapasitas SDM untuk industri PLTS, baik SDM yang telah masuk dalam industri maupun yang berpotensi menjadi bagian dari industri PLTS. Integrasi pengetahuan terkait industri komponen PLTS di sistem pendidikan, misalnya, dapat menciptakan keunggulan SDM Indonesia dibanding negara lain. Peningkatan kualitas SDM tidak hanya berdampak terhadap kesiapan industri domestik, melainkan juga menjadi nilai tambah untuk mengundang investor untuk mengembangkan industri komponen PLTS di Indonesia.



---

# Daftar Pustaka

- Acharya, M., & Devraj, S. (2019). Floating solar *Photovoltaic* (FSPV): A third pillar to solar PV sector. *New Delhi, India: The Energy and Resources Institute*.
- Ahn, J. (2022, March 27). *LS C&S expands solar cable business*. <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20220327000141>
- Akšamović, A., Konjicija, S., Odžak, S., Pašalić, S., & Grebović, S. (2022). DC Cabling of Large-Scale *Photovoltaic* Power Plants. *Applied Sciences*, 12(9), 4500.
- Allen, M. M., Allen, M. L., Saqib, S. I., & Liu, J. (2021). State-permeated capitalism and the solar PV industry in China and India. *New Political Economy*, 26(4), 527–539.
- APAMSI. (2022, March 23). *Strategi Pengembangan Industri Solar Fotovoltaik di Indonesia. PLTS Atap untuk Industri, Siapa yang Untung*. <https://www.youtube.com/watch?v=aYRMstVa35o>
- Bellini, E. (2021, August 17). *JinkoSolar builds 7 GW wafer factory in Vietnam*. *Pv Magazine*. <https://www.pv-magazine.com/2021/08/17/jinkosolar-builds-7-gw-wafer-factory-in-vietnam/>
- Bellini, E. (2022, January 20). *TOPCon vs PERC*. <https://www.pv-magazine.com/2022/01/20/topcon-vs-perc/>
- Bisnis Indonesia. (2022, January 27). *SETRUM BARU BUAT INDUSTRI KABEL LISTRIK AGAR MANDIRI*. <https://bisnisindonesia.id/article/setrum-baru-buat-industri-kabel-listrik-agar-mandiri>
- BloombergNEF. (2021a). *Clean Energy Trade Policy Case Study: India*. <https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/India%20Case%20Study%20-%20BloombergNEF.pdf?ZxrLtAeFjNQx4BIhpVlf.fbMT7MycXsg>
- BloombergNEF. (2021b). *Solar PV Trade and Manufacturing: A Deep Dive*. <https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/Solar%20PV%20Case%20Study%20-%20BloombergNEF.pdf?wDUUIXhfxWtA0ILU66HdshX539MvZHDI>

- 
- BUMN. (2021, September 10). *DPR Dukung Len Bangun Industri Manufaktur Solar Cell & Indhan*. <https://bumn.go.id/media/news/detail/dpr-dukung-len-bangun-industri-manufaktur-solar-cell-indhan>
- CNN Indonesia. (2022, February 26). *Sampah Plastik 2021 Naik ke 11,6 Juta Ton, KLHK Sindir Belanja Online*. <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20220225173203-20-764215/sampah-plastik-2021-naik-ke-116-juta-ton-klhk-sindir-belanja-online>
- Corwin, S., & Johnson, T. L. (2019). The role of local governments in the development of China's solar *Photovoltaic* industry. *Energy Policy*, 130, 283–293.
- Deorah, S. M., Abhyankar, N., Arora, S., Gambhir, A., & Phadke, A. (2020). Estimating the Cost of Grid-Scale *Lithium-ion* Battery Storage in India. *LBNL Report*.
- EBTKE. (2021, August 25). *Bidik Kapasitas Terpasang 3,6 GW, Ini Sederet Keuntungan Pengembangan PLTS Atap*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/08/26/2945/bidik.kapasitas.terpasang.36.gw.ini.sederet.keuntungan.pengembangan.plts.atap>
- EBTKE. (2022a, February 4). *Pemerintah Kenalkan GSEN pada Presidensi G20 Indonesia*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/02/07/3073/pemerintah.kenalkan.gsen.pada.presidensi.g20.indonesia?lang=en>
- EBTKE. (2022b, April). *EVALUATION OF THE INDONESIAN SOLAR PV MODULE INDUSTRY*.
- Elshurafa, A. M., Albardi, S. R., Bigerna, S., & Bollino, C. A. (2018). Estimating the learning curve of solar PV balance-of-system for over 20 countries: Implications and policy recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 196, 122–134.
- Energy I-SPARK. (n.d.). *Balance of System—Strategic Conditions*.
- ESDM. (2020a). *Booklet Tambang Bauksit 2020*. <https://www.esdm.go.id/id/booklet/booklet-tambang-bauksit-2020>
- ESDM. (2020b). *Booklet Tambang Emas Perak 2020*. <https://www.esdm.go.id/id/booklet/booklet-tambang-emas-perak-2020>

- 
- ESDM. (2020c). *Booklet Tambang Tembaga 2020*. <https://www.esdm.go.id/id/booklet/booklet-tambang-tembaga-2020>
- Fraunhofer ISE. (2022, February 24). *Photovoltaics Report*. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/Photovoltaics-report.html>
- Gandenberger, C. (2018). *China's trajectory from production to innovation: Insights from the Photovoltaics sector*. Working Paper Sustainability and Innovation.
- Green, M. (2022, April 20). *Solar PV development and future trajectories* [PowerPoint presentation]. *Indonesia Solar Summit 2022*.
- Gupta, U. (2021, June 27). 'World's cheapest wafer' maker plans 2 GW Indian cell and wafer fab. <https://www.pv-magazine.com/2021/06/24/worlds-cheapest-wafer-maker-plans-2-gw-indian-fab/>
- IEA. (2021). *World Energy Outlook 2021*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- IEA. (2022). *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains>
- IESR. (2021). *Indonesia Energy Transition Outlook 2022. Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Aiming for Net-Zero Emissions by 2050*. Institute for Essential Services Reform (IESR). <https://iesr.or.id/en/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2022>
- IESR. (2022). *Indonesia Solar Energy Outlook 2023*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR).
- IRENA. (2018). *Renewable Energy Market Analysis: Southeast Asia*. <https://irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-Energy-Market-Analysis-Southeast-Asia>
- IRENA. (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>

- 
- IRENA. (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2021*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>
- KBRI Beijing. (2021, April 15). *Another Chinese Company Interested in Investing in Indonesia, Jollywood!* <https://kemlu.go.id/beijing/en/news/12537/another-chinese-company-interested-in-investing-in-indonesia-jollywood>
- Kemenperin. (2021, September 14). *Kemenperin Targetkan TKDN Industri Panel Surya Capai 90% di Tahun 2025*. <https://kemenperin.go.id/artikel/22781/Kemenperin-Targetkan-TKDN-Industri-Panel-Surya-Capai-90-di-Tahun-2025->
- Latunussa, C., Mancini, L., Blengini, G., Ardente, F., & Pennington, D. (2016). Analysis of material recovery from silicon *Photovoltaic* panels. *Luxembourg: Publications Office of the European Union*.
- Pengadaan. (2020, March 24). *Pemanfaatan Pasir Silika atau Kuarsa dalam Dunia Industri*. <https://www.pengadaan.web.id/2020/03/pasir-silika-atau-kuarsa.html>
- PLN. (2021). *Rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL) 2021-2030*. [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf)
- PLN. (2022, March 17). *PLN Grup Bersama IBC Mulai Pengembangan Battery Energy storage System*. <https://web.pln.co.id/media/2022/03/pln-grup-bersama-ibc-mulai-pengembangan-battery-energy-storage-system>
- PPIMTE. (2018). *ROADMAP PENGEMBANGAN INDUSTRI FOTOVOLTAIK INDONESIA*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Purwanto, B. A. (2022, April 20). *Domestic Industry Support on the Development of Renewable Energy (Solar Energy), Presentasi pada ISS 2022*. ISS 2022.
- Ralon, P., Taylor, M., Illas, A., Diaz-Bone, H., & Kairies, K. (2017). Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. *International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, UAE*.
- RRI. (2022, March 29). *Penambang Pasir Kuarsa Ajak Investor Bangun Smelter*. <https://rri.co.id/ekonomi/1405516/penambang-pasir-kuarsa-ajak-investor-bangun-smelter>





**IESR**

Institute for  
Essential Services  
Reform

Jalan Tebet Barat Dalam VIII No.20  
Jakarta Selatan 12810 | Indonesia  
T: +62 21 2232 3069  
F:+62 21 8317 073

  iesr.id      iesr

[www.iesr.or.id](http://www.iesr.or.id)