

# Model Bisnis

untuk Memperkuat Peran Pemerintah Daerah  
dalam Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan  
di INDONESIA



Pusat Studi Energi  
Universitas Gadjah Mada.

Sekip Blok K1-A Yogyakarta 55281.  
Telepon/Faksimili: +62 274 549429. Email: pse@ugm.ac.id.

2021



# **Model Bisnis**

## **untuk Memperkuat Peran Pemerintah Daerah dalam Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan di Indonesia**

### **Penulis**

**Ardyanto Fitriady, Ph.D**  
**Prof. Dr. Deendarlianto**  
**Adhika Widyaparaga, Dr.Eng.**  
**Dr. Rachmawan Budiarto**  
**Lesnanto Multa Putranto, Ph.D**  
**Irine Handika, LL.M.**  
**Dwi Novitasari, M.T**  
**M. Hasan Imaddudin, M. E. Sc.**  
**Laras Prasakti, M.Eng**  
**Dannys Arif Kusuma, M. Eng.**  
**Ekrar Winata, M.Sc.**  
**Ahmad Adhiim Muthahhari, M.Eng.**  
**Moses Gregory Ginting, S.T.**  
**Ryan Wiratama Bhaskara, S.T.**  
**Saiful Alim Rosyadi, S.E.**  
**Febryani Nugrahaningsih, S.E.**

**Universitas Gadjah Mada**  
**Pusat Studi Energi**  
**Yogyakarta**



## **Model Bisnis untuk Memperkuat Peran Pemerintah Daerah dalam Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan di Indonesia**

### **Penulis:**

Ardyanto Fitriady, Ph.D

Prof. Dr. Deendarlianto

Adhika Widyaparaga, Dr.Eng.

Dr. Rachmawan Budiarto

Lesnanto Multa Putranto, Ph.D

Irine Handika, LL.M.

Dwi Novitasari, M.T

M. Hasan Imaddudin, M. E. Sc.

Laras Prasakti, M.Eng

Dannys Arif Kusuma, M. Eng.

Ekrar Winata, M.Sc.

Ahmad Adhiim Muthahhari, M.Eng.

Moses Gregory Ginting, S.T.

Ryan Wiratama Bhaskara, S.T.

Saiful Alim Rosyadi, S.E.

Febryani Nugrahaningsih, S.E.

### **Tata Letak dan Desain Sampul**

Rajib Khafif Arruzzi, Ilustrasi Freepik

### **Diterbitkan oleh:**

**Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada**

Sekip Blok K1-A Yogyakarta 55281 Bulaksumur Indonesia

pse@ugm.ac.id

+62 (274) 549429

+62 (274) 549429

### **Edisi Oktober 2021**

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

**ISBN: 978-623-91932-2-5**

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau keseluruhan isi buku dalam bentuk apa pun, secara elektronik, maupun mekanis, termasuk fotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin dari penerbit.

Undang-undang nomor 19 Tahun 2000 tentang Hak Cipta, Bab XII Ketentuan Pidana, Pasal 71, Ayat (1), (2), dan (6).



## KATA PENGANTAR

Salah satu tantangan Indonesia sebagai negara kepulauan adalah pemerataan akses energi bagi semua warga negara. Tidak tersedianya akses energi berpengaruh serius pada kesejahteraan dan produktivitas masyarakat di berbagai sektor, mulai dari rumah tangga, transportasi, maupun industri. Penyediaan energi listrik pada tingkat nasional juga masih didominasi bahan bakar fosil. Hal ini menyebabkan meningkatnya emisi karbon dan kerentanan penyediaan energi di masa depan. Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi emisi sebanyak 29% (atau 41% dengan kerja sama internasional) di tahun 2030 dengan menargetkan masuknya 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer di tahun 2025.

Permasalahan akses energi bukan hanya menjadi tanggung jawab Pemerintah Pusat –dalam hal ini antara lain Kementerian ESDM– tetapi juga terdapat peran Pemerintah Daerah (Pemda) untuk mendukung transisi energi rendah karbon. Perencanaan transisi energi bisa menjadi peluang untuk memberdayakan Pemerintah Daerah Pemda dan komunitas lokal untuk berpartisipasi dalam pada model bisnis yang listrik berkelanjutan. Salah satu dukungan Pemda dalam mendukung energi berkelanjutan adalah adanya perencanaan energi wilayah lokal yang tertuang dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED), perencanaan spasial perkotaan yang terperinci (RDTR/Rencana Detail Tata Ruang) serta dukungan dari lembaga-lembaga lain di daerah.

Partisipasi Pemda perlu didorong secara penuh. Pemda dapat berkontribusi dalam berbagai hal, mulai dari inisiasi program pemanfaatan energi terbarukan, investasi melalui badan usaha milik daerah, memastikan dukungan masyarakat serta berbagai kegiatan lainnya. Terbitnya buku **“Model Bisnis untuk Memperkuat Peran Pemerintah Daerah dalam Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan di Indonesia”** merupakan salah satu bentuk tanggung jawab Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada untuk berkontribusi dalam menangani permasalahan nasional sekaligus mendukung Pemda untuk mengembangkan potensi energi terbarukan di daerah.

Buku ini memberikan beberapa pilihan model bisnis yang dapat dikembangkan. Mulai dari sistem *on-grid*, *off-grid*, jasa energi terbarukan hingga *virtual power plant* yang menjadi potensi pengembangan di masa mendatang. Bahasan juga mencakup segi teknis, ekonomi, hukum serta aspek keberlanjutan



yang perlu diperhatikan. Studi kasus dilakukan pada tiga provinsi terpilih, yaitu Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat dan Kalimantan Timur. Meskipun memiliki studi kasus dalam pembahasan, buku ini tidak memberikan saran mutlak untuk model bisnis yang dapat dikembangkan pada ketiga provinsi tersebut. Lebih jauh, usulan model bisnis tidak terbatas pula pada tiga provinsi terpilih yang dituliskan pada buku ini.

Akhir kata, penulisan buku yang berlangsung selama satu tahun ini tentu masih membutuhkan kritik saran dan masukan dari berbagai pihak untuk perbaikan di masa mendatang.

Yogyakarta, Oktober 2021

Penyusun



# DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	iv
Daftar Isi .....	vi
Daftar Gambar .....	viii
Daftar Tabel.....	ix
Glosarium .....	x
<b>1. Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1. Permasalahan pada Akses Energi di Indonesia .....	1
1.2. Energi Terbarukan dalam Permasalahan pada Bauran Energi Primer .....	1
1.3. Keberlanjutan ( <i>Sustainability</i> ) dari Perspektif Masyarakat dan Pemerintah Daerah.....	1
1.4. Ketahanan Energi Daerah.....	2
1.5. Model Bisnis Berkelanjutan untuk Pembangunan Terbarukan .....	2
1.6. Pentingnya Peran Pemerintah Daerah.....	2
<b>2. Kebutuhan energi.....</b>	<b>3</b>
2.1. Kebutuhan energi .....	3
2.2. Transisi Energi .....	4
<b>3. Analisis Teknis .....</b>	<b>7</b>
3.1. Potensi Energi Terbarukan .....	7
3.1.1. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia .....	7
3.2. Rantai pasok ( <i>Supply chain</i> ).....	12
3.2.1. Pembangunan Pembangkit Listrik EBT .....	12
3.2.2. Pemilihan Pemasok Komponen Pembangkit Energi Terbarukan .....	12
3.2.3. Analisis Kesiapan Nasional dalam Produksi Komponen Pembangkit ET	13
3.3. Parameter Pemilihan dan Pertimbangan Teknologi Energi Terbarukan....	14
3.3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air .....	14
3.3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	14
3.3.3. Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	16
3.3.4. Pembangkit Listrik Tenaga <i>Biomassa</i> .....	17
3.3.5. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi .....	19
3.4. Tantangan Teknis Pembangkit Listrik Energi Terbarukan .....	20
3.4.1. Batasan Integrasi <i>Variabel Renewable Energy Sources (VRES)</i> .....	20
3.4.2. Transisi Sistem Tenaga.....	27
<b>4. Analisis Ekonomi .....</b>	<b>30</b>
4.1. Dampak terhadap perekonomian daerah.....	30
4.2. Potensi Manfaat Lingkungan .....	32



- 5. Analisis Hukum .....35**
  - 5.1. Pemetaan Hukum: Pengembangan Energi Terbarukan dan Peran Pemerintah Daerah dalam Peraturan Pusat ..... 35
  - 5.2. Peraturan Pemerintah Daerah..... 36
    - 5.2.1. Sektor Energi pada Undang-Undang Cipta Lapangan Kerja..... 36
    - 5.2.2. Pemerintahan Daerah dan Amendemennya pada UU Cipta Kerja ..... 37
    - 5.2.3. UU Ketenagalistrikan..... 38
    - 5.2.4. UU Energi ..... 38
    - 5.2.5. Pengelolaan Peran Pemerintah Daerah dalam Peraturan Pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional..... 40
  - 5.3. Percepatan Pencapaian Target 23% Bauran Energi melalui Pembangunan Pembangkit Hybrid dan Pembangkit EBT secara Paralel..... 41
- 6. Analisis Pemangku Kepentingan.....45**
- 7. Model Bisnis .....50**
  - 7.1. Identifikasi parameter ..... 50
    - 7.1.1. Tujuan dan Kategori..... 50
    - 7.1.2. Pemangku Kepentingan Utama..... 51
    - 7.1.3. Aktivitas Utama (*Key Activity*) ..... 51
    - 7.1.4. Proposisi Nilai (*Value Proposition*) ..... 52
    - 7.1.5. Struktur Biaya (*Cost Structure*) ..... 52
    - 7.1.6. Aliran Pendapatan..... 53
  - 7.2. Model Bisnis yang Diusulkan ..... 54
    - 7.2.1. Model Bisnis *On Grid* ..... 54
    - 7.2.2. Model Bisnis *Off Grid* ..... 57
    - 7.2.3. Model Bisnis Jasa Energi (*Energy Service Provider*) ..... 59
    - 7.2.4. Sistem *Virtual Power Plant* (VPP) ..... 61
    - 7.2.5. Sistem Alternatif: Sistem Energi Hidrogen ..... 65
  - 7.3. Studi Kasus ..... 72
    - 7.3.1. Nusa Tenggara Timur ..... 72
    - 7.3.2. Nusa Tenggara Barat..... 76
    - 7.3.3. Kalimantan Timur ..... 79
- 8. Kesimpulan dan Rekomendasi.....83**
- Daftar Pustaka.....87**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3-1	Peta Global Horizontal Irradiation Indonesia (Sumber: Atlas Bank Dunia, 2019).....	8
Gambar 3-2	Peta Energi Surya di Indonesia (MW).....	8
Gambar 3-3	Peta Kecepatan Angin Indonesia (Sumber: Indonesia World Bank, 2019).....	9
Gambar 3-4	Peta Energi Angin (MW) di Indonesia.....	9
Gambar 3-5	Sumber Energi Panas Bumi (Potensi dan Cadangan) di Provinsi-provinsi di Indonesia (Direktorat Panas Bumi Ditjen EBTKE, 2017).....	10
Gambar 3-6	Peta Potensi PLTA (MW) di Indonesia.....	11
Gambar 3-7	Peta Energi Biomassa (MW) di Indonesia.....	11
Gambar 3-8	Kesiapan Industri Komponen Listrik Nasional Mendukung rantai pasok PLTS (PSE UGM, 2020).....	12
Gambar 3-9	Skema Sederhana Sirkuit PV Surya.....	15
Gambar 3-10	Pembangunan Turbin Angin.....	16
Gambar 3-11	Gambaran NDC.....	23
Gambar 3-12	Ilustrasi Pembatasan TML.....	24
Gambar 3-13	Ilustrasi Pembatasan Unit Pembangkit Gas.....	24
Gambar 3-14	Jenis Sistem Hybrid.....	26
Gambar 3-15	Langkah-Langkah Integrasi EBT Intermitten ke dalam Grid.....	28
Gambar 7-1	Struktur Pemangku Kepentingan Model Bisnis On - Grid.....	56
Gambar 7-2	Struktur Pemangku Kepentingan Model Bisnis Off - Grid.....	58
Gambar 7-3	Berbagai Jenis Layanan yang Ditawarkan oleh Penyedia Layanan Energi.....	59
Gambar 7-4	Penempatan Pemangku Kepentingan Model Bisnis VPP.....	64
Gambar 7-5	Proses Produksi Hidrogen dari Gas.....	66
Gambar 7-6	Proyeksi Permintaan Hidrogen.....	67
Gambar 7-7	Perbandingan antara Hidrogen dan Bahan Bakar Lain.....	69
Gambar 7-8	Peta distribusi Intensitas GHI (kWh/m <sup>2</sup> ) di Nusa Tenggara Timur.....	72
Gambar 7-9	Distribusi Intensitas Kecepatan Angin (m/s) di Nusa Tenggara Timur.....	73
Gambar 7-10	Peta Distribusi Intensitas GHI (kWh/m <sup>2</sup> ) di Nusa Tenggara Barat.....	76
Gambar 7-11	Distribusi Kecepatan Angin (m/s) di Nusa Tenggara Barat.....	76
Gambar 7-12	Peta Distribusi Intensitas GHI (kWh/m <sup>2</sup> ).....	79
Gambar 7-13	Distribusi Kecepatan Angin (m/s) di Kalimantan Timur.....	79



## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Konsumsi Listrik Konsumen di Indonesia (TWh) [1], [2] .....	3
Tabel 2-2	Usaha Daerah / Lokal yang Perlu di Pertimbangkan .....	6
Tabel 3-1	Klasifikasi Energi Berdasarkan Kondisi Saat Ini (PSE UGM, 2020) .....	13
Tabel 3-2	Contoh Komponen Penyusun Panel Surya.....	16
Tabel 3-3	Hubungan Antara Diameter Rotor dan Daya .....	17
Tabel 3-4	Kadar Air dari Beberapa Sumber Biomassa.....	18
Tabel 3-5	Rincian Biaya PLTPB .....	20
Tabel 3-6	Klasifikasi Sistem Tenaga Listrik [15].....	20
Tabel 3-7	Klasifikasi Ukuran Pembangkit.....	21
Tabel 3-8	Perbedaan antara Energi Angin dan Surya .....	22
Tabel 3-9	Pengelompokan Penelitian Sebelumnya berdasarkan Jenis Sistem Hibrida yang Digunakan .....	27
Tabel 3-10	Teknologi Pembangkitan EBT Intermitten .....	29
Tabel 6-1	Matriks Pemangku Kepentingan.....	49
Tabel 7-1	Bussiness Model Canvas: On-Grid .....	55
Tabel 7-2	Business Model Canvas: Off-Grid.....	58
Tabel 7-3	Business Model Canvas Model Bisnis Jasa .....	60
Tabel 7-4	Struktur Pemangku Kepentingan Model Bisnis Jasa .....	61
Tabel 7-5	Business Model Canvas: Virtual Power Plant .....	63
Tabel 7-6	Elemen Transmisi, Distribusi dan Penyimpanan Rantai Nilai Hidrogen .....	66
Tabel 7-7	Beberapa Deskripsi Teknis dalam Memproduksi Hidrogen .....	68
Tabel 7-8	Metode Produksi Hidrogen dan Pertimbangan Lingkungan.....	69
Tabel 7-9	Rencana Umum Energi Daerah NTT.....	75
Tabel 7-10	Rencana Umum Energi Daerah NTB.....	78
Tabel 7-11	Rencana Umum Energi Daerah Kalimantan Timur.....	82



## GLOSARIUM

No	Nama	Keterangan
1	<b>APBD</b>	Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah
2	<b>APBN</b>	Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara Indonesia
3	<b>Arus AC</b>	Arah arus yang berubah-ubah secara bolak-balik
4	<b>Arus DC</b>	Arus yang mengalir secara searah
5	<b>BAPPENAS</b>	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
6	<b>BaU</b>	<i>Business as Usual</i>
7	<b>Bauran energi</b>	Persentase antara total konsumsi final energi terbarukan terhadap total konsumsi energi final
8	<b>BIG</b>	Badan Informasi Geospasial
9	<b>Bioenergi</b>	Energi terbarukan yang didapatkan dari sumber biologis
10	<b>BMKG</b>	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
11	<b>Boiler</b>	Konversi energi yang mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan
12	<b>BPPT</b>	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
13	<b>BUMD</b>	Badan Usaha Milik Daerah
14	<b>BUMDes</b>	Badan Usaha Milik Desa
15	<b>Cofiring</b>	Pembakaran campuran biomassa dengan batu bara
16	<b>CPO</b>	<i>Crude Palm Oil</i>
17	<b>CSR</b>	<i>Corporate Social Responsibility</i> , tanggung jawab sosial
18	<b>Densitas Energi</b>	Jumlah energi yang tersimpan dalam sistem tertentu atau wilayah ruang per satuan volume
19	<b>Dirjen EBTKE</b>	Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan Dan Konservasi Energi
20	<b>DNC</b>	<i>Declared Net Capacity</i>
21	<b>Ekonomi hijau</b>	Pertumbuhan ekonomi yang kuat, namun juga ramah lingkungan
22	<b>Ekstensif</b>	Menjangkau secara luas
23	<b>Elektrifikasi</b>	Proses powering menggunakan listrik biasanya berhubungan dengan pengisian daya yang berasal dari sumber luar
24	<b>Embargo</b>	Larangan impor atau ekspor
25	<b>Emisi</b>	Penyumbang pencemaran udara
26	<b>Emisi GRK</b>	Emisi Gas Rumah Kaca
27	<b>EMS</b>	<i>Energy management system</i>
28	<b>Energi</b>	Kemampuan untuk melakukan kerja
29	<b>Entalpi</b>	Jumlah energi dalam, volume dan tekanan panas dari suatu zat
30	<b>EPC</b>	<i>Engineering Procurement and Construction</i>
31	<b>ESDM</b>	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
32	<b>ESP</b>	Energy Service Provider, Penyedia Layanan Energi



No	Nama	Keterangan
33	<b>ET</b>	Energi terbarukan
34	<b>Fluidized bed</b>	Jenis boiler yang menggunakan bed material sebagai media penghantar panas untuk menstabilkan panas didalam <i>furnace</i>
35	<b>Fluks</b>	Properti fisik dalam ruang
36	<b>Fluktuasi</b>	Sifat tidak tetap atau berubah-ubah
37	<b>Gangguan transien</b>	Perubahan yang mendadak karena terjadi pembukaan dan penutupan saklar
38	<b>Gasifikasi</b>	Perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas
39	<b>Generator</b>	Alat yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik
40	<b>GHI</b>	<i>Global Horizontal Irradiation</i>
41	<b>GIS</b>	<i>Geographic Information System</i>
42	<b>Hidrologi</b>	Ilmu pergerakan air
43	<b>HPSS</b>	<i>Hydro Power Potential Study</i>
44	<b>Insentif</b>	Kompensasi yang diberikan
45	<b>Instrumen</b>	Alat, sarana
46	<b>Integrasi</b>	Pembauran hingga menjadi kesatuan yang utuh
47	<b>Intermiten</b>	Bergantian berfungsi dan tidak berfungsi
48	<b>Inverter</b>	Mengubah DC ke AC
49	<b>IPP</b>	Independent Power Producer
50	<b>Ketahanan energi</b>	Ketersediaan sumber energi yang tidak terputus dengan harga yang terjangkau
51	<b>Konversi</b>	Perubahan dari satu sistem ke sistem yang lain
52	<b>LAPAN</b>	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
53	<b>LCA</b>	<i>Life Cycle Analysis</i>
54	<b>Logistik</b>	Perpindahan baik barang/jasa, energi ataupun sumber daya yang lain
55	<b>LOHC</b>	Liquid organic hydrogen carriers
56	<b>LSM</b>	Lembaga swadaya masyarakat
57	<b>NDC</b>	<i>Nationally Determined Contribution</i>
58	<b>O&amp;M</b>	Operasi dan pemeliharaan
59	<b>Off grid</b>	Menyimpan daya dalam baterai atau jika tidak ada di jaringan
60	<b>On grid</b>	Menghasilkan daya ketika jaringan daya utilitas (PLN) tersedia
61	<b>PBB</b>	Perserikatan Bangsa-Bangsa
62	<b>PDB</b>	Produk Domestik Bruto
63	<b>Pellet biomassa</b>	Biomassa berukuran diameter 6-10 mm dan panjang 10-30 mm
64	<b>PEMDA</b>	Pemerintah Daerah
65	<b>PLTA</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Air
66	<b>PLTB</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
67	<b>PLTBm</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa
68	<b>PLTD</b>	pembangkit listrik tenaga diesel



No	Nama	Keterangan
69	<b>PLTGU</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap
70	<b>PLTGU</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap
71	<b>PLTMh</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
72	<b>PLTP</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
73	<b>PLTS</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
74	<b>PLTSa</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Sampah
75	<b>PLTU</b>	Pembangkit listrik tenaga uap
76	<b>POME</b>	<i>Palm Oil Mill Effluence</i>
77	<b>PLN</b>	Perusahaan Listrik Negara
78	<b>PUPR</b>	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
79	<b>PV</b>	Fotovoltaik, teknologi panel surya
80	<b>Ramp-down</b>	Penurunan
81	<b>Ramp-up</b>	Peningkatan
82	<b>Rasio elektrifikasi</b>	Perbandingan jumlah rumah tangga yang telah teraliri listrik dengan jumlah total rumah tangga
83	<b>RDTR</b>	Rencana Detil Tata Ruang
84	<b>Reservoir</b>	Tempat sumber, tempat penyimpanan
85	<b>Rotor</b>	Alat mekanik yang berputar
86	<b>RPJPN</b>	Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional
87	<b>RUED</b>	Rencana Umum Energi Daerah
88	<b>RUED-P</b>	Rencana Umum Energi Daerah Provinsi
89	<b>RUKD</b>	Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah
90	<b>RUPTL</b>	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
91	<b>single-off taker</b>	Pembeli Tunggal
92	<b>Smelter</b>	Fasilitas pengolahan hasil tambang
93	<b>Solar charge controller</b>	Peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke battery dan diambil dari baterai ke beban
94	<b>Supply-demand</b>	Penawaran-permintaan
95	<b>Sustainable</b>	Keberlanjutan
96	<b>Talis</b>	Tabung Listrik
97	<b>Tax holiday</b>	Pembebasan pembayaran pajak dalam periode tertentu
98	<b>Topografi</b>	Bentuk permukaan bumi
99	<b>Torrefaksi</b>	Proses termokimia dalam pemanfaatan biomassa yang lebih efektif untuk menghasilkan solid fuel
100	<b>Transformer</b>	Perangkat listrik yang dapat digunakan untuk mentransfer daya dari satu sirkuit dan sirkuit lain
101	<b>Transisi Energi</b>	Perombakan pengadaan energi fosil ke energi terbarukan
102	<b>Turbin</b>	Mesin berputar yang mengambil energi
103	<b>UMKM</b>	Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah
104	<b>UNFCCC</b>	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change Conference</i>
105	<b>Utilisasi</b>	Pemanfaatan
106	<b>VPP</b>	<i>Virtual Power Plant</i>
107	<b>VRES</b>	Sumber energi terbarukan variabel



Halaman ini sengaja di kosongkan



# 1. PENDAHULUAN

## 1.1. Permasalahan pada Akses Energi di Indonesia

Akses energi --pada konteks ini dibatasi pada energi listrik-- seharusnya tidak terbatas pada angka rasio elektrifikasi, tetapi juga pada sumber energi yang andal dan terjangkau. Akses energi telah menjadi salah satu faktor serius dalam kesejahteraan dan produktivitas rumah tangga. Meskipun penting, beberapa wilayah di Indonesia mengalami masalah keterbatasan dalam akses energi. Di daerah pedesaan, terdapat permasalahan yang lebih kompleks diantaranya karena infrastruktur yang terbatas serta tingginya biaya investasi untuk penyediaan energi berkelanjutan. Untuk itu, sering kali permasalahan akses energi diselesaikan dengan memberikan solusi jangka pendek, salah satunya penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Penggunaan PLTD mengakibatkan daerah terpencil atau pedesaan bergantung pada bahan bakar fosil.

## 1.2. Energi Terbarukan dalam Permasalahan pada Bauran Energi Primer

Pada tingkat nasional, penyediaan energi listrik juga masih didominasi listrik berbahan bakar dasar fosil. Dominasi ini menyebabkan meningkatnya emisi karbon dan kerentanan penyediaan energi di masa depan. Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi emisi sebanyak 29-41% di tahun 2030 dengan menargetkan masuknya 23% energi terbarukan dalam bauran energi primer di tahun 2025. Demi mencapai target tersebut, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) merilis rencana untuk mengonversi 13 GW pembangkit listrik tenaga fosil menjadi energi terbarukan. Rencana konversi ini terdiri dari pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) sebesar 1,7 GW, pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) 5,6 GW, dan pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU) 5,9 GW yang tersebar di seluruh Indonesia [1]

## 1.3. Keberlanjutan (*Sustainability*) dari Perspektif Masyarakat dan Pemerintah Daerah

Masalah energi bukan hanya menjadi tanggung jawab Pemerintah Pusat, dalam hal ini antara lain Kementerian ESDM; tetapi juga terdapat peran Pemerintah Daerah (Pemda) untuk mendukung transisi energi rendah karbon. Perencanaan transisi energi bisa menjadi peluang untuk memberdayakan Pemerintah Daerah Pemda dan komunitas lokal untuk berpartisipasi dalam pada model bisnis yang listrik berkelanjutan. Salah satu dukungan Pemda dalam mendukung energi berkelanjutan adalah adanya perencanaan energi wilayah lokal yang tertuang dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED), perencanaan spasial perkotaan



yang terperinci (RDTR/Rencana Detail Tata Ruang) serta dukungan dari lembaga-lembaga lain di daerah.

#### **1.4. Ketahanan Energi Daerah**

Rasio elektrifikasi nasional telah mencapai 98,93% pada tahun 2020, tetapi ada perbedaan yang cukup besar antara akses energi di bagian barat dan timur Indonesia. Rasio elektrifikasi di Maluku, Papua, dan Nusa Tenggara masih kurang dari 80% [2]. Selain permasalahan akses energi, keberlanjutan sumber energi juga menjadi isu yang patut dipikirkan. Ketergantungan pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil berdampak pada risiko ketahanan energi. Di Indonesia, pembangkit listrik skala besar bergantung pada batubara yang sebagian besar dipasok dari Pulau Kalimantan. Sementara pada pulau-pulau kecil, pasokan solar untuk PLTD seringkali bermasalah pada ketersediaan/logistik. Untuk itu, pemanfaatan energi terbarukan berbasis potensi lokal menjadi solusi yang cukup menjanjikan, terutama bagi masyarakat di daerah.

#### **1.5. Model Bisnis Berkelanjutan untuk Pembangunan Terbarukan**

Pengembangan energi baru terbarukan (EBT) akan makin menarik jika secara ekonomi menghasilkan keuntungan. Untuk itu, diperlukan model bisnis berkelanjutan yang saling menguntungkan bagi semua pemangku kepentingan terkait. Diperlukan praktik bisnis berbeda yang menuntut kontribusi dari investor swasta dan pihak terkait lainnya. Oleh karena itu, upaya bersama dari pemerintah pusat, pemerintah daerah, investor swasta, dan masyarakat lokal sangat penting dalam setiap inisiatif pengembangan energi terbarukan.

#### **1.6. Pentingnya Peran Pemerintah Daerah**

Partisipasi Pemda perlu didorong secara penuh. Hasil dari survei sebelumnya oleh PSE UGM menunjukkan bahwa partisipasi masyarakat berbagai pemangku kepentingan merupakan faktor signifikan untuk pengoperasian pembangkit listrik berkelanjutan [3]. Pemda dapat berkontribusi dalam memastikan masyarakat dan perusahaan lokal menerima dan mendukung pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan. Pemda dapat mengambil bagian melalui kegiatan berikut:

- Menginisiasi program pemanfaatan EBT
- Investasi melalui badan usaha daerah (BUMD)
- Memastikan perkuatan dukungan dari masyarakat
- Menyediakan dukungan dalam operasional dan pemeliharaan pembangkit bagi masyarakat
- Menyediakan insentif tingkat wilayah, fasilitas investasi dan berbagai langkah afirmasi strategis guna membangkitkan bisnis EBT di daerah
- Kolaborasi dengan berbagai kementerian dalam mengakses berbagai insentif pemerintah pusat.



## 2. KEBUTUHAN ENERGI

### 2.1. Kebutuhan energi

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus naik setiap tahunnya pada berbagai sektor pengguna. Puncak beban listrik meningkat dengan rata-rata peningkatan 5,81% setiap tahunnya [2], [4]. Sementara Tabel 2-1 menunjukkan peningkatan konsumsi listrik yang terus naik sejak 2011 dengan rata-rata 5,7% per tahun [2], [4]. Berdasarkan data tersebut, diprediksi bahwa sepuluh tahun mendatang, kebutuhan listrik Indonesia akan meningkat sebesar 6,42% per tahun, dengan asumsi peningkatan pertumbuhan ekonomi sebesar 6,3%. Peningkatan penggunaan listrik dapat dilihat dalam hampir semua sektor, khususnya sektor rumah tangga. Hal ini menunjukkan bahwa peran energi listrik semakin penting dalam kehidupan masyarakat.

Tabel 2-1 Konsumsi Listrik Konsumen di Indonesia (TWh) [2], [4]

Sektor Konsumen	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Rumah tangga	64.581	71.554	76.579	83.402	87.972	92.886	93.837	97.143	102.917
Industri	54.232	59.635	63.774	65.295	63.533	67.586	71.716	76.345	77.142
Komersial	27.718	30.084	32.886	35.507	36.108	38.963	40.873	43.244	46.118
Sosial	3.959	4.405	4.793	5.400	5.889	6.573	7.046	7.726	8.483
Pemerintah	2.750	3.018	3.220	3.440	3.669	3.969	4.083	4.363	4.720
Umum	3.049	3.123	3.233	3.375	3.429	3.478	3.512	3.612	3.678
Total	156.288	171.819	184.484	196.419	200.600	213.455	221.066	232.433	243.058
Pertumbuhan (%)		9,94%	7,37%	6,47%	2,13%	6,41%	3,57%	5,14%	4,57%

Kebutuhan listrik dapat dipenuhi dengan menyediakan kapasitas pembangkit yang memadai di seluruh Indonesia sehingga dapat menjangkau semua sektor konsumen. Penyediaan pembangkit EBT juga tumbuh seiring dengan peningkatan kapasitas pembangkit di Indonesia. Pertumbuhan ini merupakan kontribusi dalam pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) yang sejalan dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dan Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Perjanjian Paris, tentang Komitmen Pemerintah Republik Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 [5], [6]



## 2.2. Transisi Energi

Komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh perubahan iklim diwujudkan dalam rencana transisi energi. Upaya ini juga merupakan manifestasi dari komitmen internasional yang terkandung dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) [7] sebagai respons dari *United Nations Framework Convention on Climate Change Conference* (UNFCCC) ke-21 di tahun 2015. Pada agenda tersebut, Indonesia menyatakan bahwa ini akan mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% dengan skenario *Business as Usual* (BaU) di tahun 2030 dan 41% dengan bantuan internasional. Komitmen ini diperkuat melalui Undang-undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja PBB Mengenai Perubahan Iklim [6].

Untuk mendukung komitmen tersebut, Indonesia mencanangkan target EBT dalam bauran energi nasional minimal sebesar 23% pada 2025 dan 31% pada 2050. Salah satu tantangan yang dihadapi dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia adalah harga energi terbarukan yang kurang kompetitif dibandingkan bahan bakar fosil. Tantangan lain yang dihadapi terkait rendahnya pemanfaatan dan pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan antara lain adalah [8]:

- a) Kebijakan tentang harga belum sepenuhnya diimplementasikan
- b) Subsidi yang tidak jelas orientasinya
- c) Peraturan belum sepenuhnya menarik bagi investor
- d) Belum optimalnya insentif untuk pembangkit listrik EBT
- e) Kurang tersedianya instrumen pembiayaan yang sesuai dengan kebutuhan investasi
- f) Proses perizinan sulit dan memakan waktu lama
- g) Masalah penyediaan lahan

Kementerian ESDM melalui Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (Dirjen EBTKE) juga berupaya untuk melaksanakan program pengembangan energi terbarukan, beberapa di antaranya adalah sebagai berikut [1]: (1) Pembuatan pasar baru untuk ET; (2) Pengembangan PLTS dan PLTB dalam skala besar untuk menarik investor sekaligus mengembangkan industri lokal; (3) Sinergi pengembangan EBT dengan pengembangan kluster ekonomi, seperti Kawasan Khusus Ekonomi, Kawasan Industri dan Kawasan Wisata Unggulan; serta (4) Fasilitas pendanaan berbiaya rendah untuk investasi energi terbarukan.

Berdasarkan [2] [9], 56% produksi listrik Indonesia disuplai oleh PLTU, disusul PLTGU sekitar 15% dan PLTA sebesar 8%. Saat ini, PLN juga memiliki sekitar 5.200 PLTD di 2.130 lokasi. Pada bulan November 2020, PLN meluncurkan program yang disebut “Konversi 225 MW di 200 lokasi berbasis EBT”. Program ini

dibagi menjadi tiga tahap konversi. Pada tahap pertama, kapasitas PLTD yang akan digantikan oleh pembangkit ET sebesar 0,225 GW yang tersebar di 200 lokasi. Di tahap dua dan tiga, kapasitas PLTD akan berkurang hingga 0,5 GW dan 1,3 GW.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa rasio elektrifikasi cukup bervariasi di seluruh wilayah Indonesia. Laporan ini akan berfokus pada tiga lokasi sebagai sampel analisis yaitu: Nusa Tenggara Barat (NTB), Nusa Tenggara Timur (NTT), dan Kalimantan Timur. Berdasarkan data [3], elektrifikasi rasio di NTT, NTB, dan Kalimantan Timur berturut-turut adalah 59,09%, 99,70%, dan 99% [10].

PLN berupaya untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di NTT, NTB, dan daerah timur Indonesia dengan menggunakan tabung listrik (talas). Talas bekerja sebagai baterai. Talas memiliki kapasitas beragam, mulai dari 300 Wh, 500 Wh, dan 1.000 Wh, dan diperkirakan dapat digunakan masing-masing untuk 3, 4, dan 8 malam. Perkiraan ini berdasarkan asumsi beban tiga lampu masing-masing lima watt dan beroperasi sekitar delapan jam per hari.

Pengembangan potensi ET di daerah diprediksi akan berkembang karena keberadaan Talas. Operasional Talas membutuhkan stasiun pengisian yang dapat dikembangkan sesuai dengan potensi di lokasi terkait, misalnya berupa PLTA, PLTBiomassa atau PLTS. PLN berencana melibatkan PEMDA dan perusahaan daerah untuk membangun stasiun pengisian listrik Talas.

Energi lokal bisa dimanfaatkan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan masyarakat lokal. Peran pemerintah dapat diupayakan agar tidak terlalu tinggi porsinya. Dalam prosesnya, perlu dipertimbangkan untuk membuat masyarakat makin berdaya. Jangan sampai aplikasi teknologi EBT *sustainable* dari sisi lingkungan, misalnya, tapi tidak berkelanjutan manfaat luasnya. Perlu adanya pengembangan partisipasi lokal, dengan memanfaatkan potensi lokal, membawanya ke pengembangan nasional, hingga mengawal proses "*self development*" menjadi optimal. Apabila rakyat membutuhkan akses listrik, maka rakyat didorong pula untuk makin berkontribusi.

Ketika membicarakan akses, masyarakat harus dilibatkan dari awal. Keterlibatan masyarakat dalam pengembangan potensi EBT, perlu didukung oleh Pemda. Pemda dapat pula berperan dalam peningkatan kapasitas dan kemampuan masyarakat untuk mengelola EBT. Penting untuk melakukan studi kelayakan sebelum memulai pekerjaan yang melibatkan aspek sosial dan ekonomi. Perlu rencana yang kreatif dan produktif untuk melibatkan masyarakat. Kebutuhan pasar juga perlu dipetakan untuk menentukan antara lain rantai pasok dari teknologi yang akan dikembangkan berdasarkan potensi lokal. Keterlibatan masyarakat setempat sangat penting bahkan untuk mengelola bisnis EBT di daerah, misalnya seperti untuk kebutuhan manajemen pembukuan pemasaran usaha.



Akses lokal juga sangat penting untuk dipertimbangkan. Setidaknya terdapat dua usaha daerah/lokal yang perlu dipertimbangkan, yaitu (1) Koperasi dan (2) Badan Usaha Milik Desa (BUMDes). Penjelasan mengenai usaha daerah ini ditunjukkan di tabel Tabel 2-2.

*Tabel 2-2 Usaha Daerah /Lokal yang Perlu di Pertimbangkan*

Koperasi	Badan Usaha Milik Desa
Berbadan usaha	Menjadi salah satu komponen di desa yang bisa berbisnis dan punya izin usaha bisa di jadikan subsidi untuk biaya kelistrikan di daerah
Tidak memiliki kapasitas teknis untuk pengelolaan EBT, pengalaman dan pengetahuan yang terbatas dalam bisnis berkelanjutan dan akses pasar.	

Untuk mencapai keberlanjutan pengelolaan teknologi EBT di daerah, berbagai pemangku kepentingan perlu berkoordinasi secara intensif sejak tahap perencanaan. Pendampingan masyarakat perlu dilakukan, antara lain dengan memberikan pemahaman tentang EBT agar dapat memunculkan rasa ingin memiliki dan menjaga teknologi yang akan diimplementasikan. Identifikasi model bisnis, usaha kecil, menengah dan besar serta akses pasar perlu dipertimbangkan pula dalam implementasi EBT di daerah.



## 3. ANALISIS TEKNIS

### 3.1. Potensi Energi Terbarukan

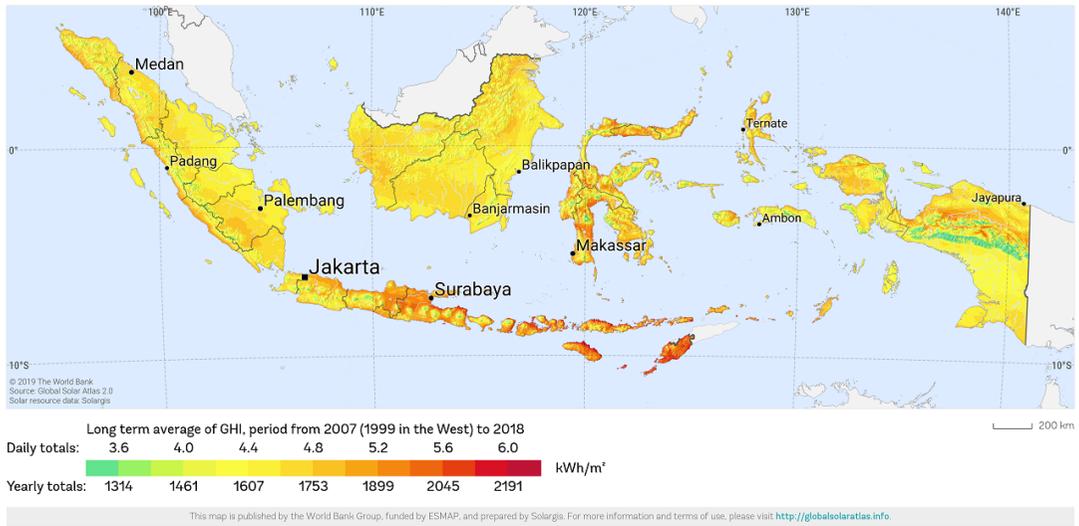
Pemetaan potensi adalah langkah pertama yang dilakukan sebelum membuat rencana pembangunan teknologi EBT di daerah. Dalam rangka memanfaatkan sumber energi terbarukan, pemetaan energi terbarukan merupakan tahap awal untuk memformulasikan rencana pembangunan pembangkit listrik ET [11]. Oleh karena itu, Pusat Studi Energi UGM telah memetakan sumber energi terbarukan menggunakan metode GIS (*Geographic Information System*) dengan Software ArcGIS 10.1. Metode GIS ini dapat memetakan area yang berpotensi dalam pengembangan (1) PLTS dengan peta GHI (*Global Horizontal Irradiation*), (2) PLTB dengan peta WV (*Wind Velocity*), dan (3) PLTMh dengan penghitungan potensi mikrohidro, analisis topografi dan debit air, (4) PLTP dengan mengidentifikasi lokasi potensi panas bumi dan (5) PLTBm berdasarkan penelitian sumber *biomass* yang telah dilakukan oleh Kementerian ESDM [12].

#### 3.1.1. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

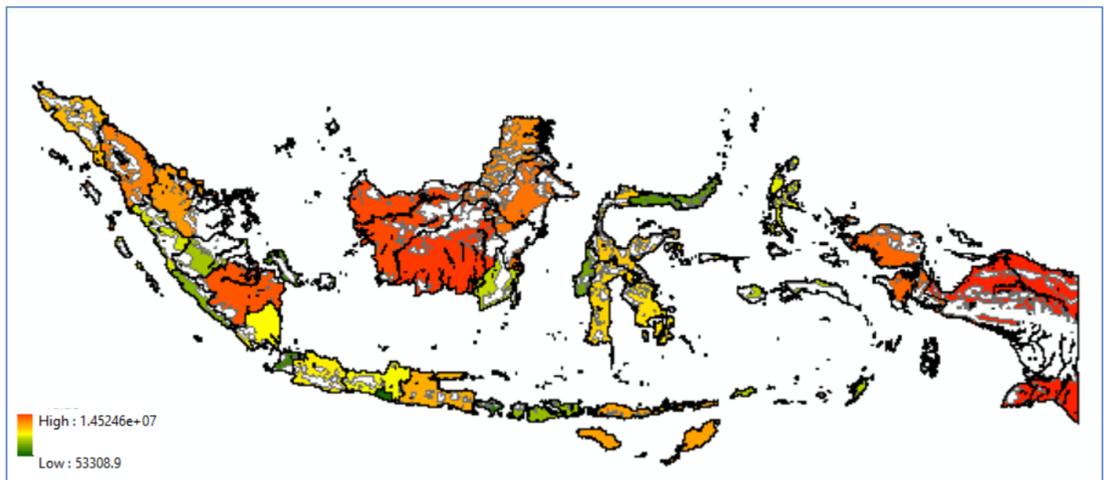
##### 3.1.1.1. Energi Surya

Gambar 3-1 menunjukkan peta *Global Horizontal Irradiation* dengan rentang nilai kurang dari 3,6 kWh/m<sup>2</sup> dan lebih dari 6 kWh/m<sup>2</sup>. Tiap titik per area didigitalkan untuk mengekstrak besar potensialnya. Nilai 4,5 kWh/m<sup>2</sup> per hari digunakan sebagai nilai ambang batas untuk menentukan lokasi potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga surya untuk setiap provinsi di Indonesia. Hasil ekstraksi dari potensi lokasi tenaga surya dapat dilihat di Gambar 3-2.

Provinsi Papua adalah provinsi dengan potensi energi surya terbesar dengan 14.815 MW, disusul dengan Kalimantan tengah dengan 11.685 MW. Ini disebabkan oleh topografi area datar yang terekspos dengan energi surya lebih besar daripada provinsi lainnya. Sementara itu, total potensi energi surya di Indonesia adalah 122.427 MW atau 122,43 GW.



Gambar 3-1 Peta Global Horizontal Irradiation Indonesia (Sumber: Atlas Bank Dunia, 2019)



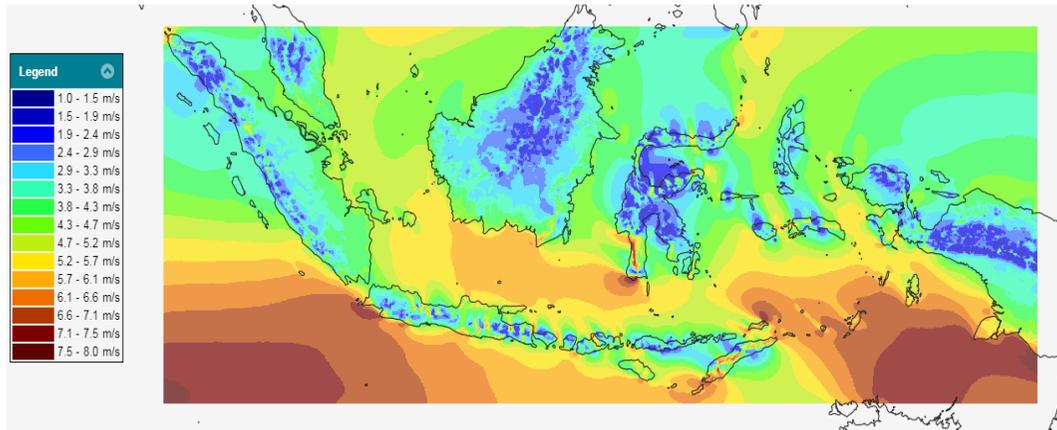
Gambar 3-2 Peta Energi Surya di Indonesia (MW)

### 3.1.1.2. Energi Angin

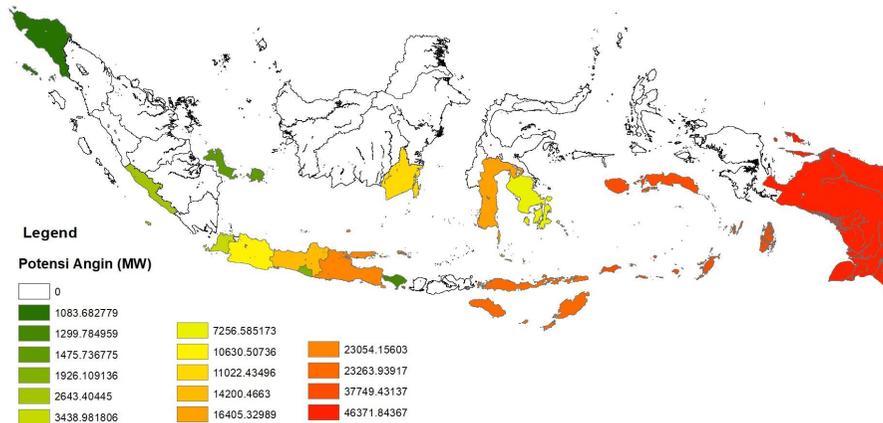
Gambar 3-3 menunjukkan peta kecepatan angin untuk setiap provinsi di Indonesia. Peta ini menunjukkan kecepatan angin rata-rata tahunan pada ketinggian 75 m dengan resolusi 5 km. Dalam studi ini, setiap titik per area didigitalkan untuk mengekstrak besaran potensialnya. Nilai 5 m/s per hari digunakan sebagai nilai ambang batas untuk menentukan lokasi potensi energi angin yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin untuk setiap provinsi di Indonesia. Hasil ekstraksi potensi lokasi energi angin dapat dilihat pada Gambar 3-4.



Provinsi Papua merupakan provinsi dengan potensi energi angin terbesar sebesar 46.372 MW, disusul oleh Provinsi Maluku sebesar 37.749 MW. Ini disebabkan oleh topografi area datar yang terekspos dengan energi angin lebih besar daripada provinsi lainnya. Sementara itu, total potensi energi angin di Indonesia adalah 3.650,791 MW atau 3.650,79 GW. Lebih detail, hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-4.



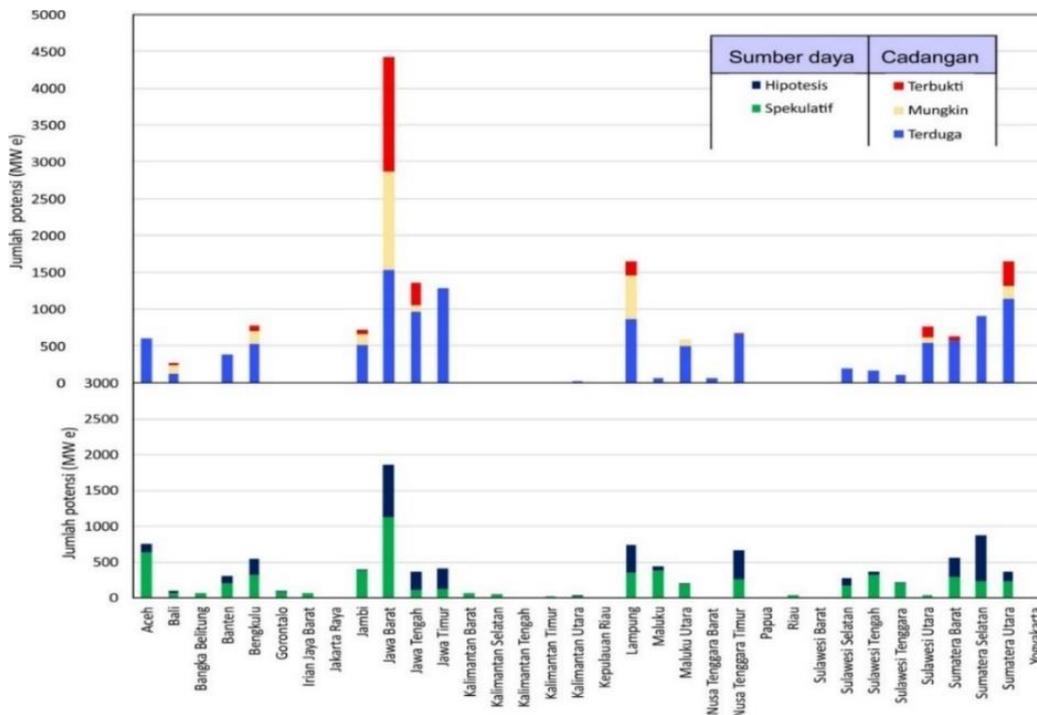
Gambar 3-3 Peta Kecepatan Angin Indonesia (Sumber: Indonesia World Bank, 2019)



Gambar 3-4 Peta Energi Angin (MW) di Indonesia

### 3.1.1.3. Energi Panas Bumi

Untuk menghitung potensi energi panas bumi, kami menggunakan data dari Kementerian ESDM Indonesia, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-5. Menurut data tersebut, Provinsi Jawa Barat memiliki potensi terbesar dengan 1.859 Mwe yang terdiri dari potensi spekulatif sebesar 1.125 Mwe dan potensi hipotesis sebesar 734 Mwe.



Gambar 3-5 Sumber Energi Panas Bumi (Potensi dan Cadangan) di Provinsi-provinsi di Indonesia (Direktorat Panas Bumi Ditjen EBTKE, 2017)

### 3.1.1.4. Energi Air

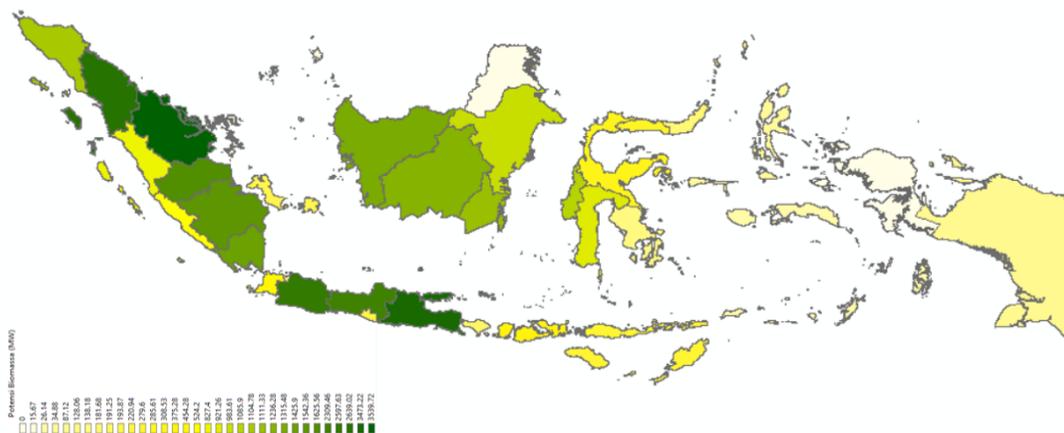
Potensi PLTA di Indonesia menurut laporan *Hydro Power Potential Study* (HPPS) pada tahun 1983 adalah 75.000 MW, dan data ini diulang dalam studi inventarisasi Tenaga Air pada tahun 1993. Namun, dalam laporan *Master Plan Study for Hydro Power Development in Indonesia* oleh *Nippon Koei* pada tahun 2011, potensi energi air setelah skrining pemantauan lebih lanjut adalah 26.321 MW. Studi lain dilakukan oleh Ditjen EBTKE ESDM yang memetakan potensi PLTA menggunakan data dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Badan BIG ini telah mengumpulkan data daerah aliran sungai dari Kementerian PUPR dan data elevasi untuk menghitung tenaga airpotensi PLTA di Indonesia.



Gambar 3-6 Peta Potensi PLTA (MW) di Indonesia

**3.1.1.5. Energi Biomassa**

Pemetaan potensi *biomassa* dihitung menggunakan data dari berbagai jenis *biomassa* yang dapat ditemukan di 34 provinsi di Indonesia. Gambar 3-7 menunjukkan bahwa Provinsi Riau memiliki potensi tenaga biomassa terbesar berupa 3.500 MW. Kemudian disusul oleh provinsi Jawa Timur sebesar 3.300 MW.



Gambar 3-7 Peta Energi Biomassa (MW) di Indonesia



### 3.2. Rantai pasok (*Supply chain*)

#### 3.2.1. Pembangunan Pembangkit Listrik EBT

Berdasarkan data riset oleh Pusat Studi Energi UGM tentang kesiapan industri dalam mendukung pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), telah ditemukan bahwa perusahaan nasional memiliki kemampuan yang memadai dalam memproduksi teknologi untuk komponen PLTS, walaupun beberapa komponen (panel surya) harus diimpor karena bahan utamanya tidak tersedia.

Berdasarkan Gambar 3-8 dapat dilihat bahwa penyebaran pemasok komponen sistem PV di Indonesia didominasi oleh perusahaan di Indonesia bagian barat. Mayoritas pemasok komponen sistem PV berlokasi di Jakarta dan Jawa Barat, yaitu Banten, Bekasi, Bogor, Bandung, dan Depok.



Gambar 3-8 Kesiapan Industri Komponen Listrik Nasional Mendukung rantai pasok PLTS (PSE UGM, 2020)

#### 3.2.2. Pemilihan Pemasok Komponen Pembangkit Energi Terbarukan

Pemilihan pemasok adalah proses dimana pembeli mengidentifikasi, mengevaluasi, dan membuat kontrak dengan pemasok. Dalam hal pemilihan pemasok, biasanya ada banyak kriteria yang perlu dipertimbangkan dalam mengambil keputusan [13]. Ada banyak sarana pengambilan keputusan dalam memilih pemasok yang dipakai dalam *Multi-criteria Decision Making* (MCDM), yaitu *Data Envelopment Analysis* (DEA), *Analytical Network Process* (ANP), *Analytic Hierarchical Process* (AHP), dan *Technique for Others Reference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Pada kasus yang berbeda, pendekatan yang dilakukan juga berbeda. Hal ini tergantung pada kriteria dan metode yang diinginkan. Ada



beberapa metode yang unik seperti AHP (*Analytic Hierarchy Process*) akan lebih baik digunakan di *unclear conditions* daripada metode lainnya [14]. AHP dan ANP (*Analytic Network Process*) adalah metode yang menggunakan pendekatan matematis dan yang paling sering digunakan.

### 3.2.3. Analisis Kesiapan Nasional dalam Produksi Komponen Pembangkit ET

Pemerintah memberikan fleksibilitas dalam pembangunan EBT dengan menyediakan insentif fiskal, seperti *tax holiday* dan pembebasan bea masuk bagi BUMN strategis dan industri dalam negeri yang fokus pada pengembangan pembangkit listrik ET. Namun, kebijakan ini belum bisa memacu peningkatan kapasitas listrik ET. Untuk mendorong peningkatan kapasitas ET, perlu dilakukan analisis tentang seberapa jauh penggunaan komponen yang diproduksi oleh industri manufaktur domestik. Analisis ini sangat penting untuk dilakukan demi meningkatkan kemampuan teknologi industri lokal dalam mendapatkan formulasi kebijakan yang tepat bagi pemangku kepentingan.

Tabel 3-1 menggambarkan kondisi fabrikasi dari setiap energi yang dihasilkan pada pembangkit listrik ET.

Tabel 3-1 Klasifikasi Energi Berdasarkan Kondisi Saat Ini (PSE UGM, 2020)

EBT	Status Komponen
Angin	Mayoritas Komponen Impor
Surya	Mayoritas Komponen Impor
Biomassa	Beberapa dapat diproduksi secara domestik kecuali turbin dan generator
Panas bumi	Beberapa dapat diproduksi secara domestik kecuali turbin dan generator
Air	Sebagian besar dapat diproduksi secara domestik kecuali turbin dan generator
Mikrohidro	Semua komponen dapat dikerjakan secara pada <i>level</i> nasional
Ombak laut	Masih dalam tahap pengembangan dan proyek percontohan, tidakbelum ada tahap komersial di Indonesia
Baterai	Masih dalam tahap pembangunan pabrik baterai, saat ini baterai <i>lithium</i> masih diimpor

Pemanfaatan komponen dalam negeri untuk pembangkitan, dimulai dengan bahan baku dan teknologi, perlu dikembangkan terus-menerus untuk mendukung kemandirian energi. Saat ini, beberapa komponen dapat diproduksi secara domestik, misalnya pada pembangkit listrik *biomassa*, panas bumi, air, dan mikrohidro. Untuk menjamin keberlanjutannya, diperlukan bagian penelitian dan pengembangan pabrik untuk meningkatkan kemampuan teknik sehingga mampu menghitung dan mendesain pembangkit secara mandiri, atau didukung oleh perusahaan teknologi yang mampu mendesain sistem dan peralatan pembangkit yang bersifat *non-moving/non-dynamic*.



### **3.3. Parameter Pemilihan dan Pertimbangan Teknologi Energi Terbarukan**

#### **3.3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air**

Pembangkit listrik tenaga air sangat mirip dengan pembangkit listrik tenaga batu bara, di mana sumber energi digunakan untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik. Namun, dari pada menggunakan energi yang terkandung dalam uap super panas seperti di pembangkit listrik tenaga batu bara, pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan potensi energi dari air yang sudah disimpan dalam bendungan. Berdasarkan jumlah kapasitas, pembangkit listrik tenaga air biasanya diklasifikasikan sebagai berikut [15]:

- Mikrohidro: kurang dari 100 kW
- Minihidro: 100-500 kW
- Hidro skala kecil: 500 kW - 10 MW
- Hidro skala besar: di atas 10 MW

Faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam mendesain PLTA antara lain adalah:

##### **1. Aspek Topografi**

Berhubungan dengan estimasi data topografi dalam area fasilitas tenaga air permukaan lahan, daerah aliran sungai untuk mendukung kinerja PLTA

##### **2. Aspek Hidrologi**

Mempertahankan debit air untuk memperkirakan produksi energi pada PLTA

##### **3. Aspek sipil**

Berisi desain infrastruktur PLTA, seperti konstruksi bendungan, struktur pertimbangan hidrolik, dan mendesain akses komponen pendukung lainnya

##### **4. Aspek elektro-mekanik**

Terdiri dari turbin, pembangkit listrik, dan sistem kontrol

##### **5. Aspek Ekonomi**

Evaluasi ekonomi dari PLTA penting untuk memperkirakan kelayakan teknologi tenaga air yang diusulkan.

#### **3.3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

Komponen pada PLTS pada umumnya terdiri dari bagian-bagian penting sebagai berikut [16]

##### **1. Panel Surya**

Komponen ini digunakan untuk mengkonversi radiasi matahari ke arus menjadi listrik DC. Arus listrik yang dihasilkan sebanding dengan intensitas mataharinya.



Jumlah sel atau ukuran panel yang lebih tinggi diperlukan untuk area pada radiasi matahari yang rendah agar menghasilkan listrik secara optimal..

2. *Solar charge controller*

Tegangan keluar dari panel surya perlu disesuaikan sebelum memasuki baterai. Alat ini digunakan untuk mengontrol tegangan yang dihasilkan.

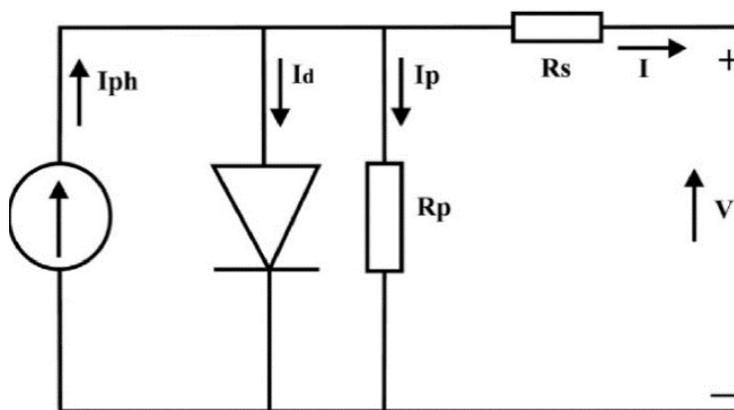
3. Baterai

Untuk mencegah intermitensi dari intensitas cahaya, energi listrik disimpan di dalam baterai sebelum digunakan.

4. Inverter daya

Alat ini akan mengubah arus DC yang keluar dari baterai (DC) ke dalam menjadi arus AC sehingga dapat digunakan untuk banyak tujuan berbagai peralatan.

Prinsip dasar panel surya dapat diasumsikan terdiri dari beberapa komponen penting seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-9.



Gambar 3-9 Skema Sederhana Sirkuit PV Surya

Untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh PLTS, beberapa hal perlu dipertimbangkan, termasuk:

1. Aspek penyinaran surya

Listrik yang dihasilkan dari panel surya secara langsung berbanding lurus dengan penyinaran matahari yang diterima. Fluks ideal untuk PV surya diperkirakan sekitar 5-6 kWh/m<sup>2</sup>/hari [16].

2. Aspek Baterai

Implementasi PLTS dapat dengan atau tanpa penambahan baterai sebagai penyimpan daya. Baterai sebagai penyimpan daya memberikan daya untuk pengguna ketika produksi dari PLTS rendah, sehingga meningkatkan keandalan dari sistem tersebut. Namun, perlu juga dicatat bahwa menambahkan baterai juga akan meningkatkan biaya pembangunan energi.



### 3. Aspek ekonomi

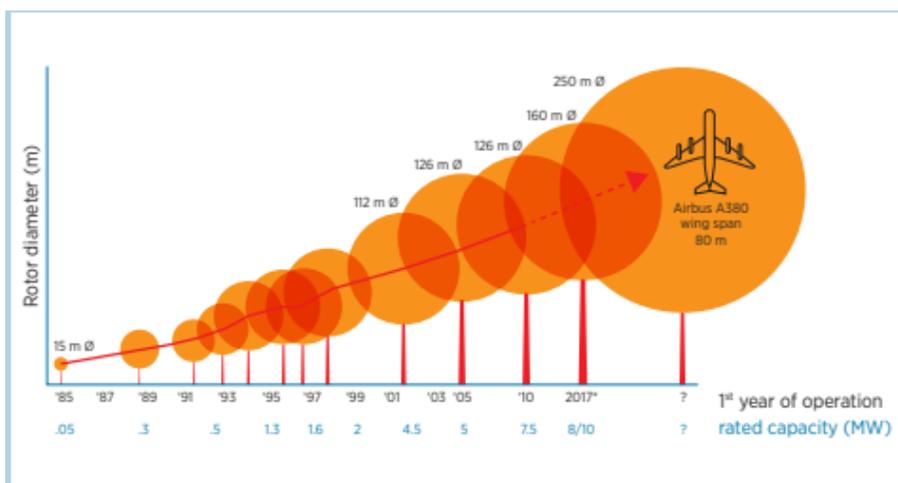
Pemanfaatan PLTS dalam studi ini difokuskan untuk area pedesaan/terpencil, oleh karena itu perlu dipastikan bahwa fasilitas tersebut layak secara ekonomi. Biaya pembangkitan listrik dengan PLTS berada pada kisaran US\$ 0,06 sampai 0,22/kWh [17]. Biaya pembangkitan listrik dapat meningkat karena beberapa faktor, misalnya adanya termasuk penyimpanan dayapenambahan baterai dan *maximum power point tracker* (MPPT) dan penambahan perangkat pelacakan. Contoh biaya komponen untuk PLTS dapat diteliti diterlihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Contoh Komponen Penyusun Panel Surya

Parameter	Nilai
Jenis panel surya	Poly crystal
Kapasitas daya	30 kW
Biaya modal	US\$ 50,000
Biaya penggantian	US\$ 50,000
Biaya operasional dan perawatan	US\$ 0
Efisiensi	17%
Faktor penurunan	80%
Kemiringan	7.12 derajat
Azimuth	180 derajat
Reflektansi tanah	20%
Usia komponen	25 tahun

### 3.3.3. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Turbin angin memanfaatkan kekuatan energi angin melalui bilahnya yang menangkap dan mengubah kecepatan angin menjadi energi rotasi. Ukuran turbin angin terus meningkat untuk mencapai kapasitas pembangkit. Gambar 3-10 dengan singkat melaporkan bahwa ukuran turbin angin telah meningkat sepanjang tahun.



Gambar 3-10 Pembangunan Turbin Angin



Ada pun beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam menggunakan tenaga angin, antara lain:

1. Aspek potensi angin  
Sebagaimana disebutkan di Potensi Energi Terbarukan di Indonesia, potensi angin juga sudah dipertimbangkan bersamaan dengan lokasi dan musim. Kondisi angin juga akan sangat memengaruhi listrik yang dihasilkan untuk jenis turbin yang sama. Pemilihan lokasi dengan kepadatan angin yang tinggi memiliki peran esensial dalam mencapai pemanfaatan tenaga angin yang efisien.
2. Aspek diameter rotor  
Listrik yang dihasilkan juga meningkat dengan diameter rotor. Secara keseluruhan, hubungan antara ukuran rotor dan daya dapat ditunjukkan di tabel. Berdasarkan tabel ini, disebutkan bahwa perkembangan teknologi memungkinkan pembangunan rotor yang lebih besar sehingga memungkinkan hasil kapasitas yang lebih besar.

Tabel 3-3 Hubungan Antara Diameter Rotor dan Daya

Klasifikasi Ukuran	Radius Rotor	Daya yang Dihasilkan
Kecil	< 12 m	< 40 kW
Sedang	12- 45 m	40 kW - 1,0 MW
Besar	> 46 m	> 1.0 MW

3. Aspek Ekonomi  
Kelayakan ekonomi dari turbin angin juga harus dievaluasi untuk memberikan penilaian yang komprehensif.

### 3.3.4. Pembangkit Listrik Tenaga *Biomassa*

Untuk mengimplementasikan PLTBm, ada beberapa aspek yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. Aspek komposisi  
Bahan baku *biomassa* yang baik memiliki kandungan oksigen dan abu yang rendah. Hal ini dapat menurunkan nilai kalor dan menimbulkan residu di dalam (abu tidak terbakar) masing-masing *boiler*. Selain komposisi elemen, penting juga untuk mengukur kadar air dari *biomassa* tersebut. Kadar air yang tinggi juga dapat meningkatkan biaya operasi melalui pengeringan konsumsi energi dan transportasi. Contoh kadar air untuk beberapa biomassa ditunjukkan pada Tabel 3-4.



Tabel 3-4 Kadar Air dari Beberapa Sumber Biomassa

Biomassa	Kadar air
Batang jagung	40 - 60%
Gandum	8-20%
Jerami	50 - 80%
Sekam padi	7-10%
Kotoran ternak	88%
Kulit kayu	30-60%
Serbuk gergaji	25 - 55%
Sisa makanan	70%
Pelet bahan bakar dari sampah	25 - 35%
Ceng gondok	95,3%

2. Aspek Densitas Energi (*Energy Density*)

Salah satu tantangan yang sering muncul dalam penggunaan biomassa adalah densitas energi yang rendah dari biomassa tersebut. Densitas energi yang rendah akan meningkatkan biaya operasi karena proporsinya yang tinggi dalam biaya penanganan dan transportasi. Kekurangan tersebut dapat diminimalisir dengan menggunakan biomassa berbentuk pelet dan proses torrefaksi. Pelet memungkinkan biomassa untuk dipindahkan dengan cara yang lebih praktis. Metode ini dapat dikembangkan lebih lanjut melalui torrefaksi, di mana biomassa dipanaskan sekitar 200°C

3. Aspek Pembakaran

Saat ini pembakaran langsung (*direct combustion*) biomassa untuk pembangkit listrik masih menggunakan metode *cofiring* dengan batu bara. Berdasarkan pengalaman utilisasi, rasio biomassa-batu bara akan memengaruhi proses dan desain peralatan, misalnya, 5-8% biomassa diperbolehkan untuk proses pencampuran sebelum dilumatkan, 25-50% biomassa akan memerlukan sistem *fluidized bed* dan untuk biomassa lebih dari 50% lebih sesuai menggunakan desain *boiler* tertentu.

4. Aspek ekonomi

Energi berbasis biomassa secara relatif memiliki sifat yang lebih unik dibandingkan dengan sumber ET sebelumnya. Hal ini dikarenakan biomassa memerlukan penanganan atau persiapan sebelum dapat dimanfaatkan. Hal ini, kemungkinan akan memengaruhi biaya pembangkitan energi biomassa secara keseluruhan.



### 3.3.5. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Ada beberapa komponen utama dalam pembangkit listrik tenaga panas bumi, antara lain

1. Sumur produksi  
Sumur produksi adalah hulu dari PLTP tempat air garam panas bumi yang biasanya memiliki suhu di atas 240°C diproduksi. *Reservoir* panas bumi dapat berupa *reservoir* cair, *reservoir* yang didominasi uap, atau air panas.
2. Unit pembangkit uap dan listrik  
Terdapat beberapa konfigurasi unit pembangkit uap dan turbin yang mungkin dipilih untuk proses yang layak, misalnya *flash* tunggal, *flash* ganda, sistem biner, dll untuk menghasilkan uap super panas yang kemudian menghasilkan listrik
3. Unit pendingin air garam  
Uap super panas akan mengembun setelah bekerja di turbin. Karena proses perubahan fasa terjadi pada suhu yang relatif konstan, kondensat masih memiliki suhu tinggi. Kondensat yang panas perlu didinginkan menggunakan penukar panas atau menara pendingin sebelum dimasukkan kembali.

Untuk memanfaatkan energi panas bumi, beberapa aspek perlu dipertimbangkan secara menyeluruh karena aspek-aspek ini juga dibahas untuk energi terbarukan sebelumnya.

1. Aspek kompleksitas  
Konstruksi PLTP memerlukan desain proses hulu dan hilir. Ini sangat berbeda dibandingkan dengan sumber ET yang disebutkan sebelumnya yang secara relatif lebih sederhana dan bahkan mungkin untuk dijalankan dalam unit portabel berskala kecil.
2. Aspek lingkungan dan regulasi  
Karena juga akan mencakup aktivitas hulu, maka dapat dipahami bahwa aktivitas tersebut sesuai dengan regulasi. Biasanya, regulasinya akan memiliki kaitan erat dengan aspek lingkungan, contohnya penilaian dampak lingkungan dan pemilihan lokasi.
3. Aspek entalpi  
"Kadar energi" reservoir panas bumi biasanya ditunjukkan berdasarkan nilai entalpi dari cairan panas bumi. Perkiraan entalpi ini merupakan informasi yang sangat penting karena ini akan menentukan pemilihan teknologi dan kondisi operasi.
4. Aspek ekonomi  
Selain aspek teknologi, mempertimbangkan nilai ekonomi juga perlu. Berdasarkan studi sebelumnya, diperkirakan biaya pembangkitan energi panas



bumi adalah sejumlah US\$ 0.04-0.14/kWh. Rincian biaya dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 3-5.

Tabel 3-5 Rincian Biaya PLTPB

Parameter	Nilai, %
Pembangkit listrik	42
Sumur produksi	15
Pengembangan lapangan uap	14
Cadangan	9
Infrastruktur	7
Sumur eksplorasi	4
Sumur injeksi	4
Manajemen dan Pengawasan	3
Sumur uji coba	1
Biaya pemilik	1

### 3.4. Tantangan Teknis Pembangkit Listrik Energi Terbarukan

#### 3.4.1. Batasan Integrasi Variabel Renewable Energy Sources (VRES)

Karakteristik sistem listrik dan ukuran saat ini bermacam-macam karena berbagai faktor, seperti pertumbuhan populasi, kepadatan populasi, dan faktor geografis [18]. Adanya perbedaan dalam berbagai ukuran sistem menjadi tantangan dalam perencanaan sistem, baik perencanaan pembangkitan dan transmisi. Ini berhubungan dengan pemilihan kandidat pembangkit, pemilihan tingkat tegangan transmisi dan pilihan sistem interkoneksi yang tepat. Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem tenaga listrik dapat diusulkan untuk mengklasifikasikan sistem ke dalam beberapa kategori.

Tabel 3-6 Klasifikasi Sistem Tenaga Listrik [17]

Klasifikasi Sistem	Metode Ekspansi	Ukuran Sistem	Sistem Integrasi
Besar	Grid GEP	> 10 MW	Sistem Transmisi
Sedang	Mikrogrid (interkoneksi ke jaringan/terisolasi)	2-10 MW	Sistem Distribusi
Kecil	Mikrogrid (terisolasi)	< 2 MW	Terisolasi - Mandiri

Dengan klasifikasi ukuran sistem tenaga listrik seperti pada Tabel 3-6, maka mungkin untuk menentukan ukuran generator yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem. Ukuran pembangkit diklasifikasikan dalam beberapa istilah. Klasifikasi ukuran unit pembangkit dilakukan berdasarkan kriteria teknis dan desain untuk kepentingan regulasi jaringan dan sambungan. Misalnya, berdasarkan data pada Tabel 3-6 sistem tenaga listrik yang memiliki ukuran lebih dari 10 MW akan diintegrasikan ke sistem transmisi. Sistem transmisi telah mengklasifikasi ukuran unit pembangkit yang tersambung, yang mengacu pada dokumen *grid code*, seperti *grid code* Jawa-Bali atau *grid code* Sumatra. Menurut *grid code* Jawa-Bali, klasifikasi



unit pembangkit didefinisikan sebagai kecil (<50 MW), sedang (50 MW - <200 MW), dan besar (> = 200 MW) [19]. Sementara itu di *grid code* Sumatra, klasifikasi unit kecil adalah pembangkit <30 MW, sedang (30-100 MW), dan pembangkit besar (> = 100 MW) [20]. Secara umum, klasifikasi ukuran pembangkit dengan tingkat integrasi sistem dapat dilihat pada Tabel 3-7.

Tabel 3-7 Klasifikasi Ukuran Pembangkit

Klasifikasi Sistem	Integrasi	Ukuran
Besar	Sistem Transmisi	Besar: $\geq 100$ MW
		Sedang: 30 MW - < 100 MW
		Kecil: < 30 MW
Sedang	Sistem Distribusi	0,1 MW - < 10 MW [18]
Kecil	Terisolasi - Mandiri	< 2,5 MW [18]

Berdasarkan klasifikasi dalam sistem skala ini, maka dapat terlihat pertimbangan dalam metode ekspansi dan integrasinya dalam sistem tenaga listrik. Integrasi sistem, termasuk integrasi pembangkit, dapat dilakukan di tingkat transmisi, distribusi, atau terisolasi. Adanya klasifikasi yang telah mempertimbangkan aspek teknis dan desain sistem juga salah satu faktor yang menentukan batasan masuknya pembangkit ke dalam sistem kelistrikan. Penentuan batas integrasi pembangkit listrik, pembangkit energi terbarukan, akan dijelaskan di bawah ini:

### Sistem Transmisi

Integrasi pembangkit energi terbarukan memiliki beberapa tantangan karena karakternya, terutama untuk sumber energi terbarukan variabel (VRES) atau intermiten. Dampak VRE pada perilaku sistem juga berbeda dengan pembangkit listrik konvensional, terutama untuk kualitas daya, respons terhadap perubahan beban, dan selama gangguan jaringan [21]. Berdasarkan fleksibilitas sistem dalam merespon perubahan muatan, sistemnya harus menyeimbangkan *supply* dan *demand*. Jadi, sistemnya akan memiliki suplai yang tidak pernah terputus. Rentang operasional pengiriman daya membatasi integrasi VRES [22]. Integrasi VRE memerlukan beberapa analisis teknis, studi penetrasi VRE maksimum dan kemampuan jaringan yang layak, dan teknologi pendukung untuk menjaga keandalan, keberlanjutan, dan kualitas sistem daya. Utilitas sistem tenaga harus menyediakan beberapa kriteria teknis untuk mengintegrasikan VRE dalam sistem mereka, seperti pengaturan tegangan dan kemampuan daya reaktif, perjalanan tegangan rendah dan tinggi, respon inersia yang efektif, kontrol laju *ramp* daya dan/atau pembatasan *output* daya, dan kontrol frekuensi [21].

Beberapa karakter pembangkit listrik VRES, seperti angin dan PLTS, ditunjukkan di Tabel 3-8. Mengintegrasikan VRES memperhatikan beberapa hal. Perbedaan karakter dari masing-masing VRES harus dipertimbangkan. Energi angin masih berupa mesin yang berputar sehingga memiliki inersia yang sangat sedikit. Sebaliknya, energi surya hanya didasari pada perangkat elektronik daya



sehingga tidak memiliki inersia. Pembangkit listrik tenaga angin biasanya memiliki faktor kapasitas 20% sampai 50%, sementara PLTS berupa 10% sampai 25%.

Tabel 3-8 Perbedaan antara Energi Angin dan Surya

Karakteristik	Angin	Surya
Variabel pembangkit listrik	Seringkali acak pada skala waktu sub-musim, kondisi lokal dapat menghasilkan sebuah pola.	Gerak planet (hari, musim) dengan hampan statistik (awan, kabut, salju, dll.).
Uncertainty yang perlu di perhatikan saat diaggregasi	Bentuk dan waktu pembangkit tidak diketahui.	Faktor skala yang tidak diketahui dari bentuk yang diketahui.
Karakteristik Ramping	Tergantung pada sumber; biasanya, beberapa kejadian ekstrem.	Sering, sebagian besar deterministik dan repetitif, dan terjal.
Skala	Skala komunitas dan di atasnya.	Rumah tangga dan di atasnya.
Teknologi	Tidak serentak dan mekanis.	Tidak serentak dan elektronik.
Faktor Kapasitas	Umumnya 20% hingga 50%.	Umumnya 10% hingga 25%.

Setelah mengetahui masing-masing jenis VRES, penting untuk memperhatikan kesiapan *grid* sebelum diintegrasikan dengan VRES. Terdapat beberapa persyaratan bagi *grid* sebelum integrasi VRES. Pertama, kontrol tegangan statis untuk menjaga pengaturan tegangan [20]. Di PV surya, hal ini dapat dicapai dengan kontrol inverter AC-DC saat pembangkit listrik tenaga angin disediakan melalui *built-in control* untuk turbin angin tipe 3 dan 4. Di samping itu, bank kapasitor atau reaktor bisa ditambahkan. Ketika diperlukan untuk regulasi tegangan dinamis, alat FACTS seperti SVC dan STATCOM dapat digunakan.

Untuk menunjang respons inersia, kontrol inersia sintesis dalam *inverter* di PLTS dapat dicapai saat pembangkit listrik tenaga angin melekat pada turbin angin Tipe 1 dan 2. Tipe turbin angin lain, yaitu tipe 3 dan 4, dapat diperoleh dengan kontrol tambahan di *inverter* tersebut. Untuk menunjang respon frekuensi, kontrol *inverter* AC-DC di PV surya dapat memberikan fungsi alat pengatur atau seperti AGC, sementara pembangkit listrik tenaga angin dapat disuplai oleh semua turbin yang dilengkapi dengan beberapa bentuk pengaturan *pitch*. Penting untuk memperkirakan energi surya dan angin untuk mengantisipasi intermitensi VRES berdasarkan kondisi wilayah dan parameter yang memengaruhi keluaran energi. Sehingga operator *grid* dapat menjadwalkan pembangkit konvensional untuk mengikuti pola pembangkit VRES. Perlu juga untuk menyediakan sistem pemantauan yang lebih baik seperti sistem pemantauan area luas dengan PMU.

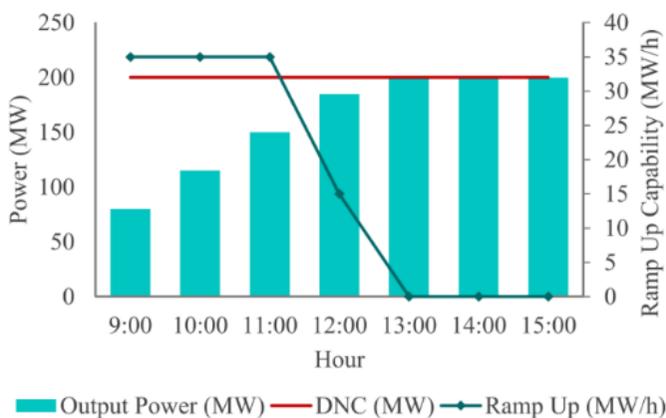
Integrasi VRES dapat dilakukan dengan mengintegrasikan dalam jaringan transmisi, jaringan distribusi, atau skema mandiri. Penentuan jumlah integrasi ET seperti Angin dan Surya yang bisa dilakukan pada sistem transmisi perlu mempertimbangkan beberapa batasan. Hal ini disebabkan karena pembangkit listrik VRES menghasilkan pembangkit yang berfluktuasi, bergantung pada ketersediaan energi utama pada saat itu, yaitu radiasi matahari dan kecepatan



angin yang terus berubah sewaktu-waktu. Di sisi lain, pembangkit non-VRE harus menggabungkan fluktuasi daya aktif yang disebabkan oleh intermitensi dari pembangkit VRE. Karena batasan teknis dari sistem pembangkit, penting untuk menerapkan beberapa batasan dalam integrasi VRE. Penelitian serupa juga dilakukan yang berhubungan dengan pemodelan dan efeknya pada sistem transmisi [23], serta menentukan penetrasi maksimum sistem Jawa-Bali [24]. Terdapat beberapa pertimbangan dalam menentukan batas integrasi VRE dalam sistem daya listrik untuk mengkompensasi intermitensi dari energi surya dan angin, yang didiskusikan sebagai berikut [23]:

A. Declared Net Capacity (DNC)

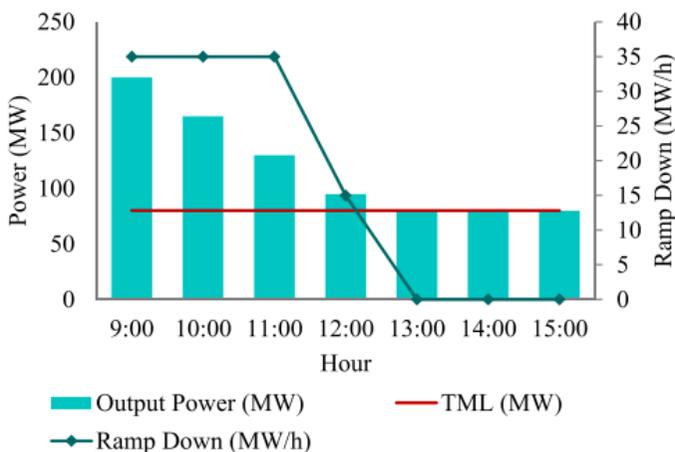
Pembangkitan DNC Non-VRE membatasi potensi peningkatan. Margin antara DNC dan nilai pengiriman unit pada slot waktu  $T$  harus merupakan kapasitas *ramp-up* maksimum yang tersedia pada saat itu. Kapasitas unit ini mungkin bervariasi dengan nilai yang berbeda untuk tiap slot waktu. Nilai kemampuan *ramp-up* adalah nol ketika *output* pembangkit mencapai DNC. Gambaran batasan DNC ditunjukkan pada Gambar 3-11.



Gambar 3-11 Gambaran NDC

B. Technical Minimum Load (TML)

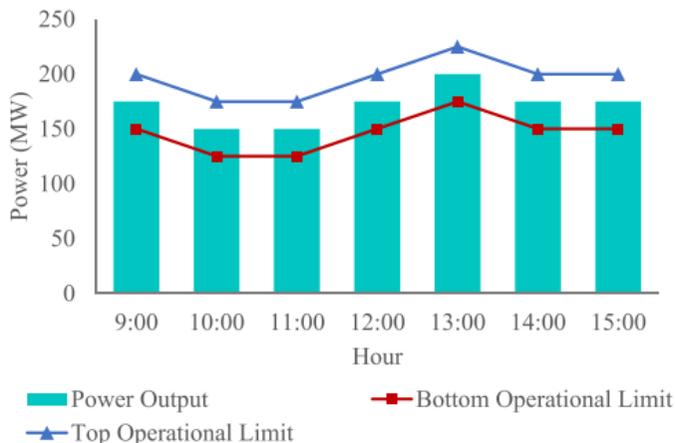
TML adalah muatan minimal yang dapat diterapkan pada pembangkit dengan mempertimbangkan faktor teknisnya. TML membatasi kemampuan *ramp-down* di mana margin antara TML dan nilai pengiriman unit pada slot waktu  $t$  adalah kemampuan *ramp-down* maksimum generator pada periode tersebut. Pembatasan operasi TML digambarkan di Gambar 3-12.



Gambar 3-12 Ilustrasi Pembatasan TML

### C. Pembatasan Coal Mill dan Swing Gas

Coal mill dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas umpan batu bara dan efisiensi sebelum dimasukkan ke boiler. Output daya pembangkit tergantung pada jumlah mill yang aktif. Jumlah mill yang aktif menentukan keluaran daya maksimal. Selama pengoperasian mill, pembangkit tidak dapat meningkatkan atau menurunkan keluaran dayanya, sehingga pembangkit tidak memiliki kontribusi dalam mengimbangi fluktuasi. Selain itu, sebagian besar pembangkit listrik tenaga gas dan PLTGU khususnya di sistem Jawa-Bali memiliki pasokan gas dari pipa dan sejumlah kecil penyimpanan gas lokal, sehingga pengendalian aliran gas tidak fleksibel dan tidak beroperasi terus menerus selama setahun. Pembatasan-pembatasan ini disebut dengan faktor “swing gas”, dijelaskan pada Gambar 3-13.



Gambar 3-13 Ilustrasi Pembatasan Unit Pembangkit Gas



#### D. Unit Pembangkit daya tetap

Sistem pembangkit daya tetap terdiri dari banyak jenis, yaitu daya yang bisa dikirim tidak dapat dikirim, seperti pembangkit listrik tenaga panas bumi. Keluaran pembangkit listrik tenaga panas bumi cenderung dioperasikan secara kontinyu, mempertimbangkan bahan bakar yang ekonomis. Bahkan, terdapat ketidakterediaan fleksibilitas dari sumber utama. Jadi tenaga panas bumi tidak termasuk pada fleksibilitas sistem.

#### E. Fleksibilitas Sistem Daya

Kemampuan sebuah sistem untuk mengkompensasi fluktuasi beban ditunjukkan oleh fleksibilitas. Fleksibilitas dalam sistem pembangkit, ditunjukkan dengan kemampuan unit pembangkit untuk merespons variasi beban atau beban bersih. Fleksibilitas sistem pembangkit ditunjukkan dengan kemampuan kecepatan *ramp*.

#### F. Kontrol Daya Aktif

Kontrol daya aktif memungkinkan sistem untuk mengontrol keluaran daya aktif dari unit pembangkit dalam merespons tingkat frekuensi. Dengan kontrol daya aktif seperti automatic generation control (AGC), *output* unit pembangkit berubah lebih sering, meningkatkan biaya operasi. Namun, stabilitas dan keandalan sistem meningkat.

Interkoneksi antara pembangkit listrik energi terbarukan dengan jaringan distribusi PLN secara khusus diatur di [24]. Peraturan ini adalah panduan untuk sambungan pembangkit listrik energi terbarukan dengan total kapasitas terpasang hingga 10 MW, terhubung pada titik sambungan dan beroperasi secara paralel dengan sistem distribusi radial PLN pada tegangan 20 kV atau lebih rendah. Studi [25] telah menginterkoneksi PLTS dengan jaringan distribusi di area Bantul. Dalam studi [25], proses integrasi PV dengan jaringan distribusi mempertimbangkan beberapa faktor:

##### a) Tegangan jaringan

Tegangan pada jaringan dapat berubah karena pengaruh masuknya PV ke jaringan distribusi. Adanya integrasi ini dapat menyebabkan peningkatan tajam tegangan yang berpotensi menimbulkan gangguan berupa tegangan lebih.

##### b) Beban line dan transformer

Beban *line* dan *transformer* yang disebabkan oleh integrasi fotovoltaik tidak boleh lebih dari 80%.

##### c) Faktor kekuatan jaringan

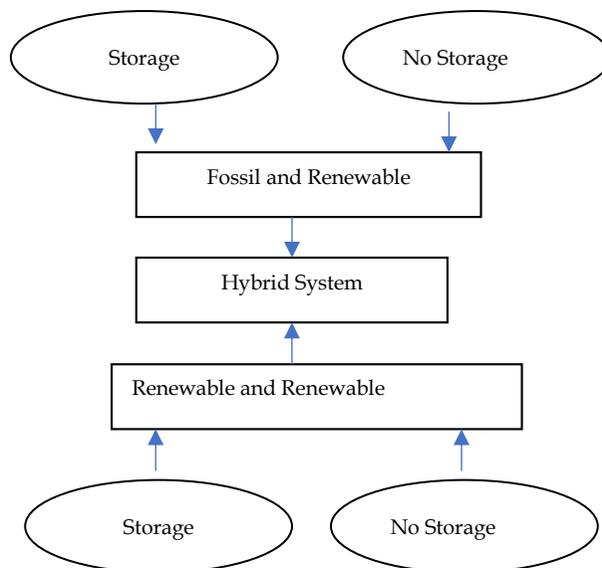
Faktor kekuatan jaringan tidak boleh kurang dari 85%.



### Sistem Hybrid/Pembangkit Listrik Virtual

Daerah terpencil seperti pulau-pulau kecil, wilayah perbatasan, dan area pegunungan biasanya terletak jauh dari jaringan listrik yang besar. Area ini umumnya menggunakan mode catu daya independen yang terpisah dari jaringan listrik utama. Pemanfaatan sumber EBT lokal merupakan langkah efektif untuk membangun sistem kelistrikan di daerah tersebut. Namun, pemanfaatan sumber EBT lokal seperti angin dan matahari akan menimbulkan tantangan tersendiri, terutama karena sifatnya yang intermiten dan tidak pasti [26].

Model sistem hibrida dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan dari pembangkit listrik EBT intermiten mandiri. Sistem hibrida bukanlah konsep baru dalam pengembangan pembangkit listrik. Namun, belakangan ini sistem hibrida menjadi topik yang ramai diperbincangkan dalam ranah pengembangan pembangkit listrik. Hal ini dikarenakan peningkatan penggunaan EBT yang bersifat intermiten sehingga harus digabungkan dengan pembangkit listrik jenis lain. Selain meningkatkan reliabilitas sistem, penggunaan sistem hibrida juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi [27]. Gambar 3-14 menunjukkan pengelompokan jenis sistem hibrida secara garis besar. Sistem hibrida dikelompokkan berdasarkan jenis tenaga yang digunakan, yaitu Fosil & EBT serta EBT & EBT. Pada jenis Fosil & EBT, pembangkit listrik tenaga fosil bertugas menyokong atau sebagai cadangan bagi pembangkit listrik EBT. Pada jenis EBT & EBT, kedua pembangkit listrik akan menyokong dan menjadi cadangan bagi satu sama lain.



Gambar 3-14 Jenis Sistem Hybrid



Kedua jenis sistem hibrida tersebut dapat dikelompokkan kembali menjadi 2 jenis, yaitu menggunakan penyimpanan dan tidak menggunakan penyimpanan. Sistem yang menggunakan penyimpanan memiliki area operasi pembangkitan yang lebih fleksibel dibandingkan dengan yang tidak menggunakan penyimpanan. Hal ini karena penyimpanan akan menyediakan energi yang dapat digunakan kapan saja. Untuk menentukan digunakan atau tidaknya penyimpanan serta menentukan ukuran penyimpanan yang akan digunakan, kita dapat menggunakan proses optimasi, entah itu dengan metode yang tepat ataupun pendekatan.

Tabel 3-9 menunjukkan beberapa penelitian sebelumnya yang sudah dikelompokkan berdasarkan jenis sistem hibrida.

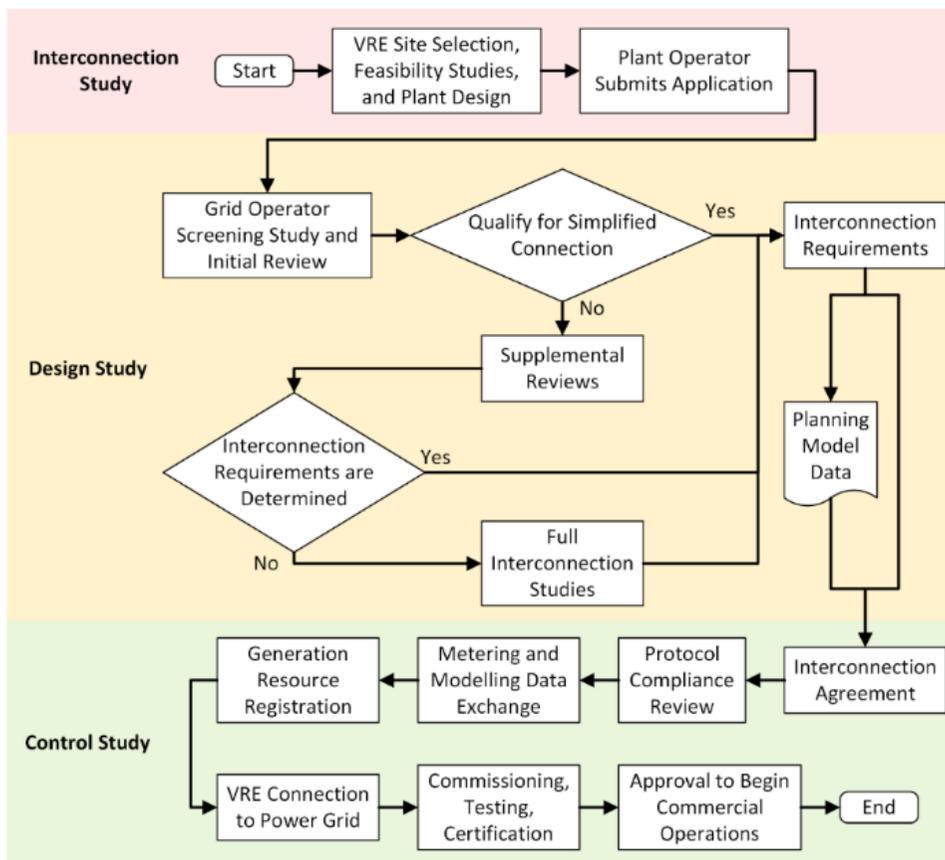
Tabel 3-9 Pengelompokan Penelitian Sebelumnya berdasarkan Jenis Sistem Hibrida yang Digunakan

Jenis Sistem Hibrida	Jenis Pembangkit Listrik
Fosil dan EBT dengan penyimpanan	Angin + PV + Sel Bahan Bakar + Mikroturbin Turbin mikro [27]
Fosil dan EBT tanpa penyimpanan	Angin + Gas [28] PV + Gas [29] Konvensional + Angin + PV [30]
EBT dan EBT dengan penyimpanan	Angin + PV [31], [32] Angin + Tenaga Surya + Pompa Air [33], [34]
EBT dan EBT tanpa penyimpanan	PV + Angin [35] Tenaga Surya + Angin + Air [36] Angin + PV + Biomassa [37]

### 3.4.2. Transisi Sistem Tenaga

Agar sistem yang ada dapat menerima generator EBT intermiten dengan baik, integrasi EBT intermiten dalam *grid* memerlukan beberapa langkah. Tiga langkah signifikan adalah studi interkoneksi, studi desain, dan studi kontrol [38]. Langkah-langkah tersebut ditunjukkan secara rinci pada Gambar 3-15.

Dalam studi interkoneksi, beberapa analisis dilakukan untuk merencanakan perluasan pembangkit dan transmisi. Perluasan tersebut bertujuan mengakomodasi integrasi EBT intermiten. Analisis pertama adalah analisis *steady state* yang akan menyelidiki kondisi operasional *grid* yang sudah ada. Dengan demikian, besaran integrasi EBT intermiten yang diperbolehkan masuk ke sistem dapat diketahui, terutama ketika terjadi gangguan seperti korsleting atau kontingensi N-1. Analisis *steady state* ini menggunakan studi aliran daya untuk menentukan perencanaan ekspansi transmisi, kebutuhan kompensasi daya reaktif, perencanaan operasi sistem tenaga, dan kinerja sistem tenaga dalam kondisi gangguan [39]. Kemudian, studi *short circuit* dilakukan untuk menentukan spesifikasi peralatan sistem tenaga dan perangkat proteksi pada kondisi korsleting.



Gambar 3-15 Langkah-Langkah Integrasi EBT Intermitten ke dalam Grid [38]

Studi lain yang dilakukan adalah studi dinamika daya dan analisis stabilitas. Studi ini berguna untuk mengidentifikasi respons unit yang diusulkan terhadap gangguan jaringan kecil dan besar, termasuk gangguan transien. Studi ini memastikan bahwa integrasi EBT intermiten ke dalam jaringan tidak akan mengurangi kemampuan sistem untuk menjaga semua mesin tetap sinkron selama dan setelah terjadi kesalahan. Yang terakhir adalah studi fasilitas untuk menghitung estimasi biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, dan biaya energi yang diratakan selama proyek berlangsung. Studi desain dilakukan dengan melakukan peninjauan, desain rekayasa detail, dan studi interkoneksi penuh. Dengan demikian, studi desain bersifat lebih rinci daripada studi interkoneksi. Langkah terakhir studi ini adalah studi kontrol, seperti menghubungkan EBT intermiten ke jaringan, *commissioning*, uji nyata, dan sertifikasi sistem tenaga. Data teknis utama untuk pembangkit listrik EBT intermiten, tenaga angin, dan tenaga surya ditunjukkan pada Tabel 3-10



Tabel 3-10 Teknologi Pembangkitan EBT Intermitten

Teknologi	Tahun	Kapasitas (MW)	Investasi (M\$/MWe)	Operasi dan Pemeliharaan Tetap (\$/MWe/year)	Faktor Kapasitas (%)
Panel surya – skala besar	2020	10	0,83	15.000	20
	2030	10	0,61	12.500	20
	2050	10	0,45	10.500	21
Angin – skala kecil di daratan	2020	0,85	4,00	73.200	34
	2030	0,90	3,48	63.700	35
	2050	0,95	2,96	54.200	37
Angin – skala besar di daratan	2020	3,5	1,50	60.000	34
	2030	4,0	1,31	5.200	35
	2050	5,0	1,11	44.400	37
Angin – di lepas pantai	2020	8	3,50	72.600	48
	2030	10	3,05	64.700	49
	2050	12	3,59	55.000	50

Biasanya, faktor kapasitas untuk panel surya adalah antara 20-21%. Dengan kata lain, panel surya dapat menghasilkan energi dengan kapasitas penuh dalam 4,8 hingga 5,04 jam setiap harinya. Pembangkit listrik tenaga angin memiliki tiga skala yang berbeda: pembangkit skala kecil di daratan, skala besar di daratan, dan di lepas pantai. Pembangkit listrik tenaga angin daratan memiliki faktor kapasitas sebesar 34-37%.

Sebagai perbandingan, pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai memiliki faktor kapasitas sebesar 48-50%. Biaya investasi dan Operasi dan Pemeliharaan (O&M) tetap untuk pembangkit listrik tenaga surya dan angin menurun dari tahun 2020 hingga 2050. Pembangkit listrik tenaga panel surya memiliki biaya investasi dan O&M tetap yang lebih rendah daripada pembangkit listrik tenaga angin berukuran sama. Modul panel surya biasanya berukuran 1-2 m<sup>2</sup> dan memiliki kerapatan daya yang berkisar antara 100–210 Wp/ m<sup>2</sup>. Panel surya diprediksikan memiliki masa pakai selama 25 tahun. Sementara itu, ukuran turbin angin terus bertambah dari tahun ke tahun. Generator yang lebih besar, hub yang lebih tinggi, dan rotor yang lebih besar berkontribusi meningkatkan pembangkitan listrik pada turbin angin. Kapasitas spesifik yang lebih rendah (meningkatkan luas rotor hingga menjadi sangat proporsional terhadap *rating generator*) akan menambah faktor kapasitas (produksi energi per kapasitas *generator*). Keluaran daya pada kecepatan angin di bawah daya terukur berbanding lurus dengan luas sapuan rotor. Selain itu, hub turbin yang lebih tinggi akan menyediakan sumber angin yang umumnya lebih tinggi pula



## 4. ANALISIS EKONOMI

Transisi menuju energi baru dan terbarukan tidak dapat ditunda lagi untuk memastikan semua negara di dunia bergerak bersama memperlambat pemanasan global. Meskipun seringkali dianggap sebagai sebuah investasi yang tidak murah, utilisasi EBT akan memberikan manfaat ekonomi, *tangible* maupun *intangible*, yang jauh lebih besar dibanding potensi biaya yang harus dikeluarkan jika transisi tersebut tidak dilakukan. Komitmen Indonesia untuk ikut berkontribusi di dalam penanganan perubahan iklim – dengan menandatangani Paris Agreement di April 2016 – memastikan bahwa Indonesia harus segera bergerak untuk mencapai penurunan emisi dibanding kondisi *business-as-usual* sebesar 29 persen dengan upaya sendiri atau 41 persen dengan kerja sama internasional.

Manfaat ekonomi transisi energi ini tidak hanya akan terjadi di masa depan, tetapi juga akan terjadi di saat transisi ini dilakukan. Perubahan memaksa setiap aktor ekonomi untuk beradaptasi. Pemerintah pusat dan daerah, BUMN, swasta, dan masyarakat harus bergerak bersama untuk bertransisi. Aktivitas ekonomi baru terkait transisi energi yang bersifat nasional maupun lokal akan muncul dan menciptakan nilai tambah ekonomi yang secara langsung juga berperan terhadap keberhasilan proses transisi energi di Indonesia. Pada subbab selanjutnya secara ringkas akan dijelaskan potensi manfaat ekonomi pengembangan EBT terhadap perekonomian daerah dengan contoh potensi ekonomi di NTB, NTT, dan Kalimantan Timur.

### 4.1. Dampak terhadap perekonomian daerah

EBT tidak hanya mengurangi efek rumah kaca dan menyelamatkan bumi, tetapi juga berkontribusi pada perekonomian negara dan daerah. Umumnya, konsumsi EBT berdampak positif pada pertumbuhan ekonomi secara nasional. Beberapa penelitian menemukan korelasi positif antara Produk Domestik Bruto (PDB) dan konsumsi EBT, di mana setiap kenaikan sebesar 1 persen pada konsumsi EBT dapat meningkatkan PDB sampai sebesar 0,105 persen [40]. Dengan cara yang sama, penggantian pangsa EBT diestimasikan akan meningkatkan PDB global sebesar 0,6 hingga 1,1 persen. [4]

Di tingkat daerah, keuntungan ekonomi berkaitan erat dengan investasi, baik dari pemerintah maupun perusahaan swasta. Investasi EBT di wilayah pedesaan berpotensi mendorong pertumbuhan ekonomi lokal, meningkatkan pendapatan rumah tangga, dan menyediakan lapangan kerja baru. Selain manfaat terkait investasi, dampak positif bisa juga muncul dari desentralisasi pembangkit

listrik. Masalah interkoneksi listrik yang merupakan konsekuensi dari bentuk negara kepulauan dapat diatasi dengan membangun pembangkit listrik yang terdesentralisasi. Dengan demikian, masyarakat lokal dapat mengakses energi secara lebih mudah.

Selain manfaat-manfaat yang sudah disebutkan di atas, EBT dapat memberikan manfaat yang sesuai dengan agenda pembangunan ekonomi daerah. Nusa Tenggara Barat (NTB), Nusa Tenggara Timur (NTT), dan Kalimantan Timur adalah contoh tiga daerah yang akan mendapatkan manfaat dari pengembangan EBT di daerah. Manfaat ini dapat berlaku untuk provinsi lain yang memiliki agenda pembangunan ekonomi serupa.

### **Manfaat Potensial untuk Perekonomian Daerah NTB**

Pengembangan EBT akan seiring sejalan dengan industrialisasi di NTB. Industri EBT ini telah tercantum di daftar sektor prioritas utama dalam Peta Jalan Pengembangan Industri Provinsi NTB. Dalam pengembangan industri EBT dibutuhkan material, jasa, dan peralatan dari industri manufaktur lainnya, sehingga mendorong permintaan produk dari sektor manufaktur tersebut. Pada gilirannya, hal ini akan memberikan berbagai keuntungan langsung – peningkatan lapangan kerja, tambahan pendapatan daerah, dan penerimaan pajak – dan tidak langsung yang muncul dari pertumbuhan sektor manufaktur lainnya.

Energi terbarukan juga berpotensi mengurangi tingkat pengangguran yang tinggi di provinsi ini. Sebagian besar pengangguran di provinsi ini adalah lulusan Sekolah Menengah Kejuruan. Industri energi terbarukan akan menciptakan lapangan kerja yang cocok untuk lulusan Sekolah Menengah Kejuruan, mulai dari teknisi servis, insinyur listrik, insinyur konstruksi, hingga insinyur pemeliharaan. Industri ini juga memiliki rantai nilai yang panjang sehingga melahirkan peluang bisnis lokal baru dalam setiap tahap dalam rantai produksi.

### **Manfaat Potensial untuk Perekonomian Daerah NTT**

Pengembangan EBT dapat mengatasi masalah akses energi di provinsi tersebut. Provinsi ini lama terus berjuang mengatasi kemiskinan, terutama di daerah terpencil yang masyarakatnya sangat sulit mengakses sumber daya energi. Pada tahun 2019, rasio elektrifikasi di NTT adalah sebesar 85,84 persen, lebih rendah dari rata-rata nasional yang sebesar 98,89 persen. Kekurangan listrik menciptakan “lingkaran setan” di mana kegiatan yang menghasilkan pendapatan sulit dilakukan karena kurangnya listrik, yang pada gilirannya akan membuat masyarakat miskin tidak mampu membayar listrik. Pengembangan EBT yang terdesentralisasi memiliki potensi untuk menyediakan akses energi yang memadai bagi masyarakat di area terpencil ini.

Kedua, dengan memanfaatkan skema pembangkit listrik yang terdesentralisasi, lapangan kerja dan peluang usaha tambahan bagi masyarakat



lokal akan tercipta. Masyarakat bisa mendapatkan keuntungan dari usaha tambahan. Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) dapat diundang untuk berpartisipasi dalam kepemilikan dan pengoperasian pembangkit listrik energi terbarukan.

### **Manfaat Potensial untuk Kalimantan Timur**

Perekonomian Kalimantan Timur sangat bergantung pada sektor pertambangan dan ekstraksi yang tidak berkelanjutan. Sektor tersebut telah memberikan kontribusi kepada PDB provinsi sebesar 48,6 persen sejak tahun 2010. Ketergantungan pada pertambangan batu bara menimbulkan risiko besar bagi ketahanan ekonomi provinsi. Fluktuasi harga internasional terbukti membahayakan kesinambungan pertumbuhan, terutama di tahun 2020 ketika sektor provinsi mengalami pertumbuhan negatif akibat penurunan permintaan batu bara. Jika aktivitas ekonomi daerah tidak beralih dari dominasi pertambangan batu bara, pertumbuhan ekonomi daerah tidak dapat dipertahankan.

Pengembangan EBT juga akan mendukung pembangunan ibu kota negara yang baru. Rencana ini menyerukan pengembangan kota hijau yang didukung oleh sistem EBT. Setidaknya 39 persen energi ibu kota baru akan dipasok dari pembangkit listrik tenaga air EBT. Akan menjadi pencapaian besar bagi pemerintah provinsi Kalimantan Timur jika mereka dapat berkontribusi untuk pemenuhan target ini.

### **4.2. Potensi Manfaat Lingkungan**

EBT diketahui menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah dibandingkan dengan energi bahan bakar fosil. Beberapa penelitian telah melakukan Analisis Siklus Hidup (*Life Cycle Analysis/LCA*) untuk membandingkan manfaat relatif antara bahan bakar EBT dan fosil. LCA tidak hanya terbatas pada emisi karbon, tetapi juga dapat menggabungkan rasio energi bersih (*Net Energy Ratio/NER*), yakni rasio antara keluaran energi bermanfaat yang dikirim ke jaringan dan energi fosil yang digunakan selama proyek berlangsung [41]. Studi tersebut menunjukkan bahwa EBT memiliki APM yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Angka APM untuk EBT berkisar antara 9 sampai dengan 65 (angin adalah energi dengan APM tertinggi, yakni mencapai 65), sedangkan angka APM untuk bahan bakar fosil hanya berkisar antara 0,3 sampai dengan 0,4.

Indikator emisi gas rumah kaca di LCA juga menunjukkan bahwa EBT menghasilkan emisi GRK yang lebih rendah selama proyeknya berlangsung. Emisi GRK terendah dihasilkan oleh panas bumi (sekitar 17 gram CO<sub>2</sub>e/kWh), diikuti oleh gelombang laut (sekitar 22 gram CO<sub>2</sub>e/kWh), hidro (sekitar 25 gram CO<sub>2</sub>e/kWh), biomassa (sekitar 55 gram CO<sub>2</sub>e/kWh), dan tenaga surya (sekitar 70 gram CO<sub>2</sub>e/kWh) [41]. Sementara itu, emisi GRK yang dihasilkan dari batubara



sekitar 1000 gram CO<sub>2</sub>e/kWh dan gas sekitar 500 gram CO<sub>2</sub>e/kWh. Meta-studi yang dilakukan oleh Asosiasi Nuklir Dunia juga menunjukkan bahwa teknologi EBT menghasilkan intensitas emisi GRK yang jauh lebih rendah per GWh listrik dibandingkan dengan bahan bakar fosil selama proyek berlangsung. EBT yang menghasilkan emisi GRK tertinggi adalah panel surya, yaitu sebesar 85 ton CO<sub>2</sub>e/GWh, sedangkan penghasil GRK terendah pada teknologi bahan bakar fosil adalah gas alam sebesar 499 ton CO<sub>2</sub>e/GWh.

Implementasi sistem pasok listrik berbasis batubara masih didukung secara luas dengan pertambangan batubara yang dilakukan secara terbuka (open pit mining). Ekternalitas tambang batubara ini juga belum sepenuhnya terinternalisasi. Ini berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dalam skala luas dan jangka panjang, yang berisiko memicu dampak lebih luas tidak hanya dalam aspek lingkungan.

Dengan bertransisi ke EBT, setiap wilayah akan merasakan masalah lingkungan tersebut. Untuk memperoleh manfaat EBT secara maksimal, ada hal-hal yang harus menjadi fokus masing-masing provinsi:

### **Nusa Tenggara Timur**

Sejak tahun 2005 hingga 2013, profil emisi Nusa Tenggara Timur didominasi oleh sektor transportasi (61 persen) dan energi (39 persen). Emisi karbon dari sektor energi dan transportasi masing-masing tumbuh sebesar 122,92 persen dan 167,64 persen pada tahun 2013. Dengan demikian, kawasan ini dapat memanfaatkan penggunaan EBT untuk mengurangi emisi GRK. Selain itu, program penurunan emisi juga selaras dengan Rencana Pembangunan Daerah Nusa Tenggara Timur. Sektor transportasi bisa beralih dari bahan bakar fosil konvensional ke bahan bakar nabati. Sementara itu, sektor energi dapat memanfaatkan energi terbarukan untuk menghasilkan listrik yang lebih berkelanjutan.

### **Nusa Tenggara Barat**

Profil emisi NTB juga didominasi oleh sektor transportasi (78 persen) dan energi (22 persen). Pada tahun 2013, emisi dari sektor energi tumbuh 200,26 persen dan -1,43 persen untuk sektor transportasi. Dengan demikian, area ini sebaiknya menggunakan EBT dalam rangka mengurangi emisi. Selain itu, menurut Rencana Pembangunan Daerah provinsi ini, penyebaran EBT akan membantu Pemerintah mencapai pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, yang indikatornya adalah tercapainya kualitas air dan udara pada tahun 2023 dan adanya porsi EBT sebesar 5,83 persen pada bauran energi.

### **Kalimantan Timur**

Sebagaimana dua provinsi sebelumnya, profil emisi Kalimantan Timur juga didominasi oleh sektor transportasi (62 persen) dan energi (29 persen). Di tahun



2013, jumlah emisi tumbuh sebesar 222,77 persen untuk sektor energi dan 646,28 persen untuk sektor transportasi. Untuk mengurangi emisi karbon dari kegiatan ekonomi dan non-ekonomi, Kalimantan Timur dapat memanfaatkan EBT. Sumber EBT dapat menggantikan penggunaan bahan bakar fosil dalam menghasilkan listrik. Laju meluasnya kawasan tambang batubara diharapkan dapat ditekan. Pengembangan EBT dapat digunakan sebagai strategi transformasi lahan di kawasan bekas tambang. Bahan bakar minyak dan listrik juga dapat digantikan dengan bahan bakar nabati yang dihasilkan energi terbarukan untuk mengoperasikan kendaraan listrik. Terakhir, pemanfaatan energi terbarukan sejalan dengan perencanaan pembangunan daerah provinsi Kalimantan timur yang berencana mereformasi kawasan bekas tambang dan bergerak menuju ekonomi hijau.



## 5. ANALISIS HUKUM

### 5.1. Pemetaan Hukum: Pengembangan Energi Terbarukan dan Peran Pemerintah Daerah dalam Peraturan Pusat

Peran Pemerintah Daerah dalam pengembangan Energi Terbarukan sangat tergantung pada rancangan pengaturan kewenangan yang dikonstruksi oleh peraturan perundang-undangan yang berlaku. Dalam pasal 1 angka 6 UU 30/2014 tentang Administrasi Pemerintahan, definisi kewenangan adalah kekuasaan Instansi dan/atau Pejabat Pemerintah atau penyelenggara negara lainnya untuk bertindak dalam ranah hukum publik. Kewenangan adalah hak yang dimiliki oleh Instansi dan/atau Pejabat Pemerintah atau penyelenggara negara lainnya untuk mengambil keputusan dan/atau tindakan dalam penyelenggaraan pemerintahan. Faktor-faktor berikut memengaruhi seberapa besar porsi Pemerintah Daerah dalam menjalankan perannya:

- 1) Sejauh mana regulasi terkait Energi Terbarukan mengadopsi konsep Desentralisasi Energi, yaitu penyerahan urusan pemerintahan di bidang energi oleh Pemerintah Pusat kepada daerah otonom berdasarkan Asas Otonomi. Mengacu pada ketentuan Pasal 1 angka 6 UU 23/2014, Otonomi Daerah menimbulkan hak, wewenang, dan kewajiban daerah otonom untuk mengatur dan mengurus urusan pemerintahannya di bidang energi. Secara umum, ada dua macam Urusan Pemerintahan: Urusan Pemerintahan Wajib yang harus dilaksanakan oleh semua Daerah dan Urusan Pemerintahan Opsional yang harus dilaksanakan oleh daerah sesuai dengan potensinya.
- 2) Sejauh mana Pemerintah Daerah bisa mengelola ruang lingkup kewenangan pengembangan pemanfaatan Energi Terbarukan di wilayahnya. Setidaknya, ada tiga cara untuk mendapatkan kewenangan. **Cara pertama** adalah Atribusi, yaitu pemberian wewenang kepada Instansi dan/atau Pejabat Pemerintah berdasarkan Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 atau Undang-Undang. **Cara kedua** adalah Delegasi yang berarti penyerahan wewenang dari Instansi dan/atau Pejabat Pemerintah yang lebih tinggi kepada Instansi dan/atau Pejabat Pemerintah yang lebih rendah. Dalam delegasi, semua tanggung jawab dan kewajiban sepenuhnya dialihkan kepada penerima. **Cara ketiga** adalah Mandat, yaitu pengalihan wewenang dari Instansi dan/atau Pejabat Pemerintah yang lebih tinggi kepada Instansi dan/atau Pejabat Pemerintah yang lebih rendah. Tak seperti cara sebelumnya, tanggung jawab dan kewajiban akan tetap diemban oleh pemberi mandat.

- 3) Kemampuan kepala daerah (baik gubernur maupun bupati/walikota) dalam memahami ruang lingkup kewenangannya dan mengimplementasikannya dalam bentuk konkrit yang sesuai dengan karakteristik daerahnya masing-masing. Perlu digarisbawahi bahwa yang dimaksud dengan “Pemerintah Daerah” adalah Kepala Pemerintahan Daerah sebagaimana tertulis dalam Pasal 1 angka 3 Undang-Undang 23/2014 tentang Pemerintahan Daerah. Dengan kata lain, “Pemerintah Daerah” dalam konteks ini bukan Kepala Pemerintah Daerah dan Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPD). Undang-undang sektor energi, seperti UU 30/2007 tentang Energi, secara khusus menunjuk Pemerintah Daerah. Oleh karena itu, Kepala Pemerintah Daerah memiliki peran yang signifikan. Selain itu, kepala daerah juga harus bisa menentukan metode pengembangan EBT yang sesuai dengan karakteristik daerahnya mengingat EBT merupakan sumber energi lokal.
- 4) Sejauh mana regulasi yang ada memberikan keleluasaan dalam menggunakan atau melaksanakan kewenangan pengembangan EBT. Fleksibilitas ini ditentukan oleh bagaimana norma itu dirancang, entah itu imperatif atau fakultatif. Norma-norma imperatif bersifat *a priori* mengikat dan harus ditegakkan. Sebaliknya, norma fakultatif tidak bersifat *a priori* mengikat karena sifatnya yang saling melengkapi, mendukung, atau dispositif. Dengan kata lain, norma imperatif harus dilakukan, sedangkan norma fakultatif memberikan pilihan untuk dijalankan atau tidak. Namun, saat norma fakultatif diterapkan, mereka akan bersifat mengikat.
- 5) Sejauh mana pemerintah daerah dapat mengambil keleluasaan untuk mempercepat pembangunan EBT. Dalam pasal 1 angka 9 UU 30/2014, Diskresi memiliki definisi berikut: Keputusan dan/atau Tindakan yang ditetapkan dan/atau dilakukan oleh Pejabat Pemerintah untuk mengatasi masalah nyata yang dihadapi dalam penyelenggaraan pemerintahan, terutama dalam hal peraturan perundang-undangan yang memberikan pilihan, tidak mengatur, tidak lengkap atau tidak jelas, dan/atau terjadi stagnasi pemerintahan.

## **5.2. Peraturan Pemerintah Daerah**

Subbagian ini akan mengelaborasi lebih jauh peran Pemerintah Daerah dalam pengembangan EBT, terutama yang berkaitan dengan sektor pembangkit listrik.

### **5.2.1. Sektor Energi pada Undang-Undang Cipta Lapangan Kerja**

Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 Tentang Cipta Lapangan Kerja yang kontroversial akhirnya diundangkan dalam Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 245 pada tanggal 2 November 2020. Undang-Undang tersebut membawa perubahan signifikan dalam sistem hukum negara sebagai

akibat dari penggunaan teknik legislasi baru, yaitu Omnibus Law. Omnibus Law yang meliputi berbagai topik atau pokok bahasan memungkinkannya untuk menyimpang dari norma-norma lain yang dianggap bertentangan dengan tujuan Omnibus Law. Metode ini memungkinkan satu undang-undang baru memiliki kekuatan untuk merevisi berbagai undang-undang yang secara substansial saling terkait. Omnibus Law memang menjadi metode yang mudah dan sederhana karena pembuat kebijakan tidak perlu mengubah undang-undang satu per satu. Namun, poin fundamental lainnya, seperti kepastian hukum dan keadilan, bisa terdegradasi.

UU Cipta Kerja mengamanatkan pemerintah daerah untuk menyediakan dana untuk empat target berikut:

- 1) masyarakat miskin;
- 2) pembangunan fasilitas penyediaan tenaga listrik di daerah tertinggal;
- 3) pengembangan tenaga listrik di daerah terpencil dan perbatasan; dan
- 4) pembangunan listrik di wilayah pedesaan.

Namun, amanat tersebut tidak didesain sebagai norma imperatif yang bersifat *a priori* mengikat dan wajib. Hal ini menyebabkan implementasinya akan sulit karena norma ini tidak secara eksplisit disebutkan sebagai norma yang wajib dilaksanakan. Oleh karena itu, tidak ada kewajiban bagi pemerintah daerah untuk melakukannya dan pengawasan implementasinya juga dianggap tidak perlu.

UU Cipta Kerja juga mengubah RUU Pertambangan Mineral dan Batubara. Hal ini sangat dipertanyakan karena RUU tersebut telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 yang diundangkan pada 10 Juni 2020, kurang dari lima bulan sejak pengundangan Undang-Undang Penciptaan Lapangan Kerja yang jatuh pada tanggal 2 November 2020. Substansi amandemen RUU Pertambangan Mineral dan Batubara perlu diselidiki lebih lanjut karena dampaknya yang signifikan terhadap pengembangan EBT di Indonesia.

### 5.2.2. Pemerintahan Daerah dan Amendemennya pada UU Cipta Kerja

UU Cipta Kerja mengubah beberapa pasal dalam Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 (UU Pemerintahan Daerah) yang sebelumnya sudah diubah oleh Undang-Undang Nomor 9 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedua Atas Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah melalui ketentuan Pasal 176. Ketentuan dalam Undang-Undang tentang Pemerintahan Daerah yang relevan dengan pengembangan EBT di bidang ketenagalistrikan adalah Pasal 14 ayat (1): “Penyelenggaraan urusan pemerintahan di bidang kehutanan, kelautan, serta sumber daya **energi** dan mineral **dibagi ke pemerintah pusat dan daerah provinsi**”. Urusan pemerintahan yang berkaitan dengan pengelolaan minyak dan gas bumi tidak termasuk karena mereka akan berada di bawah kendali penuh



Pemerintah Pusat. Norma pembagian urusan pemerintahan masih berlaku dan belum diamendemen oleh UU Cipta Kerja.

Ketentuan Pasal 16 akan membuahkan hasil yang baik, terutama untuk EBT, jika semua pemangku kepentingan di tingkat pusat, tingkat daerah, dan Perusahaan Pembangkitan Independen (*Independent Power Producer/IPP*) terlibat dalam penyusunan peraturan. Penentuan tolok ukur tata kelola EBT secara internasional juga penting untuk dilakukan. Dengan demikian, konsep rasional dapat ditemukan dan diintegrasikan dengan prinsip-prinsip utama pengelolaan energi di Indonesia. Pengaturan Norma, Standar, Prosedur, dan Kriteria yang baik dapat digunakan untuk “mengunci” dan mengoptimalkan peran Daerah karena Pasal 16 ayat (3) memposisikan peraturan tersebut sebagai aturan pelaksanaan bagi Pemerintah Daerah. Di sisi lain, jika regulasi tentang Norma, Standar, Prosedur, dan Kriteria tidak berkualitas, tidak jelas, ambigu/multitafsir, dan terlalu fleksibel, peran Pemerintah Daerah tidak akan optimal dan cenderung bergantung pada Pemerintah Pusat.

### **5.2.3. UU Ketenagalistrikan**

UU Cipta Kerja membawa perubahan besar dalam tata kelola ketenagalistrikan karena menyebabkan diubahnya lebih dari separuh pasal dalam UU Ketenagalistrikan. Ada 32 pasal yang diubah, 2 pasal yang dihapus, dan 1 norma yang ditambahkan ke pasal baru. Semua pasal dalam UU Ketenagalistrikan yang secara eksplisit merujuk ke daerah telah diamendemen oleh UU Cipta Kerja sebagaimana telah diuraikan sebelumnya. Oleh karenanya, hal itu tidak perlu dijabarkan lebih lanjut dalam bagian ini. Namun, ada satu ketentuan dalam UU Ketenagalistrikan yang mendukung EBT, yaitu Pasal 6 ayat (2). Ketentuan ini menekankan prioritas penggunaan sumber energi primer yang berasal dari sumber energi baru dan energi terbarukan untuk menjamin pasokan listrik yang berkelanjutan.

### **5.2.4. UU Energi**

Undang-undang a quo telah menetapkan kedudukan Pemerintah Daerah sebagai bagian dari penyelenggara penyediaan energi melalui ketentuan Pasal 20 ayat (2). Selain itu, UU Energi juga menetapkan bahwa penyediaan energi diprioritaskan di daerah tertinggal, terpencil dan pedesaan dengan menggunakan sumber energi lokal, khususnya EBT. Keberpihakan terhadap penggunaan EBT ditegaskan pada ayat (4) yang menyatakan bahwa penyediaan EBT wajib ditingkatkan oleh pemerintah daerah sesuai dengan kewenangan daerah masing-masing.

Ada tantangan sekaligus peluang yang ditawarkan kedua norma di atas. Tantangannya adalah mengatur ketentuan pasal 2 agar EBT tidak dipandang

sebagai “energi marginal” yang hanya dikembangkan di daerah tertinggal, terpencil, dan pedesaan. Jika pendekatan tersebut digunakan, target 23% EBT dalam bauran energi nasional pada tahun 2025 akan sulit tercapai. Penyebabnya adalah cakupan wilayah yang kecil pasti akan membatasi kapasitas EBT yang dapat dikembangkan. Di sisi lain, dengan pengelolaan yang baik, kedua norma tersebut dapat menjadi peluang karena dapat dijadikan landasan hukum untuk mengelola (sekaligus mewajibkan) partisipasi dan potensi 34 provinsi, 415 kabupaten, 1 kabupaten administrasi, 93 kota, dan 5 kota administratif di Indonesia. Banyaknya daerah dan potensi yang dimiliki memungkinkan tercapainya target bauran energi jika pengelolaan berjalan baik melalui pendekatan yang taktis dan konkrit.

Pasal 20 ditindaklanjuti oleh Pasal 26 yang membagi kewenangan di bidang energi kepada pemerintah pusat dan daerah. Ketentuan pada ayat (2) menentukan bahwa kewenangan pemerintah provinsi meliputi:

1. membuat peraturan di tingkat provinsi;
2. membina dan pengawasan pemanfaatan lintas kabupaten/kota; dan
3. menetapkan kebijakan pengelolaan lintas kabupaten/kota.

Ayat (3) mengatur bahwa kewenangan pemerintah kabupaten/kota meliputi:

1. membuat peraturan daerah di tingkat kabupaten/kota;
2. membina dan mengawasi pemanfaatan di kabupaten/kota; dan
3. menetapkan kebijakan pengelolaan di kabupaten/kota.

Sebelumnya, norma hukum dapat dikelola dan diarahkan untuk meningkatkan peran daerah dalam percepatan pemanfaatan EBT. Namun, hal ini berubah sejak UU Cipta Kerja berlaku. Ayat (4) tersebut mengatur bahwa kewenangan pemerintah provinsi dan pemerintah kabupaten/kota dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Oleh karena itu, pelaksanaan dan aktualisasi kewenangan tersebut harus sejalan dengan koridor norma UU Cipta Kerja. Ketentuan yang paling relevan dengan EBT adalah ketentuan tentang amendemen UU Ketenagalistrikan.

UU Cipta Kerja yang banyak memberikan kewenangan kepada Pemerintah Pusat, terutama dalam hal perizinan, berdampak negatif dan positif. Undang-undang a quo akan berdampak positif jika dikelola sedemikian rupa sehingga memangkas perizinan dan birokrasi yang pada akhirnya akan menarik investor. Di sisi lain, pemotongan kewenangan perizinan yang dimiliki oleh daerah tentu akan mengurangi kemampuan daerah dalam mewujudkan program dan kebijakannya. Contohnya adalah kebijakan percepatan EBT di daerah yang peluang berhasilnya akan lebih besar jika dirancang sebagai kewajiban dan harus dilaksanakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan di daerah. Dalam konteks tersebut, pemanfaatan EBT dapat diintegrasikan sebagai satu kesatuan dengan pemberian izin yang



menjadi kewenangan Daerah. Namun, cara tersebut tidak berlaku lagi karena urusan perizinan telah menjadi wewenang Pemerintah Pusat sepenuhnya dan masuk ke dalam skema besar Perizinan Berusaha.

Berdasarkan norma di atas, peran daerah yang tersisa dan dapat dikelola untuk mempercepat pembangunan EBT, khususnya untuk pembangkit listrik, antara lain:

1. Membuat Peraturan Daerah untuk mendirikan Badan Usaha Milik Daerah atau melakukan penyertaan modal pada Badan Usaha Milik Daerah yang Anggaran Dasar dan Anggaran Rumah Tangganya terbuka untuk melakukan pemanfaatan EBT atau pembangkit listrik hibrida.
2. Membuat Peraturan Daerah yang membuka peluang kerjasama, misalnya dalam bentuk pemanfaatan tanah milik Daerah untuk EBT atau pembangkit listrik hibrida.
3. Menyusun Peraturan Daerah tentang pemberian insentif berupa pengurangan pajak daerah dan retribusi daerah untuk Perusahaan Pembangkitan Independen (*Independent Power Producer/IPP*) ET dan Hibrida.

UU Energi juga mengatur seberapa besar pemerintah daerah berperan dalam pengembangan EBT melalui kegiatan litbang. Pasal 29 ayat (1) mewajibkan pemerintah daerah memfasilitasi penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk penyediaan dan pemanfaatan energi. Bahkan, ketentuan di ayat (2) secara gamblang menyatakan bahwa litbang diarahkan terutama untuk pengembangan EBT. Yang dimaksud dengan memfasilitasi adalah menyediakan dana yang dialokasikan dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah, sebagaimana diatur dalam Pasal 30 ayat (1) dan (2). Dengan kata lain, setiap tahun pemerintah daerah dan DPRD harus menganggarkan alokasi wajib untuk pendanaan litbang EBT dalam APBD. Norma tersebut seharusnya menjadi salah satu solusi bagi pengembangan EBT, tetapi sayangnya norma tersebut tidak diikuti dengan penetapan sanksi bagi daerah yang tidak melaksanakan kewajiban pendanaannya. Selain itu, ayat 4 dari pasal a quo juga memerintahkan pembentukan Peraturan Pemerintah menjadi peraturan operasional yang mengatur lebih lanjut tentang pendanaan. Namun, hingga saat ini, perintah tersebut belum dilaksanakan.

### **5.2.5. Pengelolaan Peran Pemerintah Daerah dalam Peraturan Pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional**

Setelah diberlakukannya UU Cipta Kerja, posisi Peraturan Pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional menjadi cukup menarik. Peraturan Pemerintah a quo merupakan peraturan pelaksana UU Energi sebagaimana tercantum di bagian yang tidak terdampak UU Cipta Kerja, yakni bagian pembukaan sampai dengan huruf a UU Energi. Peraturan Pemerintah yang harus disesuaikan dengan



UU Cipta Lapangan Kerja dalam jangka waktu paling lama 3 bulan (terhitung sejak tanggal diundangkan) adalah semua Peraturan Pemerintah yang berkedudukan sebagai peraturan pelaksana Undang-Undang yang telah diamendemen oleh Undang-Undang a quo, sebagaimana diperintahkan oleh Pasal 185 poin b. Meskipun telah melewati Pasal a quo, keberadaan Kebijakan Energi Nasional tidak dapat dipisahkan dari Undang-Undang Cipta Lapangan Kerja. Hal ini disebabkan oleh ketentuan Pasal 181 ayat (1) yang memerintahkan bahwa setiap peraturan perundang-undangan di bawah Undang-Undang yang berlaku dan bertentangan dengan ketentuan UU Cipta Lapangan Kerja harus dilakukan harmonisasi dan sinkronisasi. Upaya ini berada dalam domain Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia yang mendapatkan atribusi undang-undang untuk bertindak sebagai koordinator. Sementara itu, tidak ada analisis pasti mengenai harmonisasi dan sinkronisasi karena Pasal 181 ayat (3) menyebutkan bahwa kedua upaya tersebut diatur lebih lanjut dalam Peraturan Pemerintah yang sampai saat ini belum ada.

Dalam Kebijakan Energi Nasional, ada sebuah ketentuan yang menarik yaitu Pasal 21 ayat (1). Ketentuan ini justru merekomendasikan Pemerintah Daerah untuk ikut memberikan subsidi bagi EBT apabila salah terjadi satu atau dua kondisi berikut:

1. Harga EBT lebih mahal daripada harga energi dari bahan bakar minyak yang tidak bersubsidi; dan/atau
2. Penerapan Ekonomi Adil tidak dapat dilaksanakan.

Peraturan Pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional memberikan porsi kepada Pemerintah Daerah untuk menggarap perekonomian EBT sehingga tak kalah saing dengan energi fosil yang sudah mapan. Pasal 22 mengatakan bahwa pemerintah daerah memberikan insentif fiskal dan nonfiskal untuk mendorong pengembangan, pemanfaatan, dan pendayagunaan EBT, terutama bagi upaya skala kecil di daerah terpencil. Insentif tidak diberikan untuk jangka waktu yang tidak ditentukan karena ayat (2) memberi batasan yang sangat ketat. Batasan ini baru akan dilonggarkan jika nilai ekonomi EBT mampu bersaing dengan energi konvensional.

### **5.3. Percepatan Pencapaian Target 23% Bauran Energi melalui Pembangunan Pembangkit Hybrid dan Pembangkit EBT secara Paralel**

Pengelolaan pemanfaatan sumber energi sebagai penunjang kemampuan ketenagalistrikan nasional tidak dapat berdiri sendiri sebagai kebijakan tunggal. Hal ini dikarenakan pengelolaan pemanfaatan sumber energi melibatkan kewenangan dan pencapaian target lintas sektor. Kebijakan pembangkit listrik memang diketuai oleh Kementerian ESDM, tetapi dalam konteks konversi ke EBT, diperlukan dukungan dari sektor terkait yang memiliki target relevan untuk



membenarkan dan menegaskan program tersebut. Contohnya adalah kita dapat mengintegrasikan kebijakan sektoral Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang bertanggung jawab atas eksternalitas dan daya dukung lingkungan dengan kebijakan Kementerian ESDM. Selain itu, kebijakan sektoral di Kementerian Dalam Negeri serta Kementerian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal, dan Transmigrasi juga relevan untuk dicermati mengingat EBT merupakan sumber energi lokal. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, analisis pada subbab ini akan didasarkan pada peraturan perundang-undangan yang menjadi tema pengelolaan energi secara umum, peraturan lintas sektoral sebagaimana disebutkan di atas, dan peraturan daerah yang peneliti jadikan contoh di atas.

Program pembangunan pembangkit listrik hibrida yang memanfaatkan energi fosil dan EBT telah diamankan sejak 14 tahun lalu, tepatnya melalui UU No. 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2005-2025 (UU RPJPN 2005-2025). Undang-undang ini penting karena memuat RPJPN yang merupakan dokumen perencanaan pembangunan nasional dan kristalisasi tujuan pembentukan negara untuk periode 20 tahun, yakni dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2025. Pasal 2 ayat (1) dari UU ini berbunyi, “Program Pembangunan Nasional periode 2005-2025 dilaksanakan sesuai dengan RPJP Nasional”. RPJPN berfungsi sebagai arah sekaligus acuan bagi seluruh komponen bangsa, baik pemerintah maupun dunia usaha, dalam mewujudkan cita-cita dan tujuan nasional. RPJPN memastikan agar arah pembangunan menjadi sesuatu yang disepakati bersama sehingga semua usaha pembangunan bersinergi, koordinatif, dan saling melengkapi.

Namun, undang-undang a quo lebih menitikberatkan pada pengendalian (pengurangan) konsumsi energi fosil dari minyak bumi untuk pembangkit listrik dengan meningkatkan pemakaian gas, batu bara, dan EBT, seperti biogas, biomassa, panas bumi (*geothermal*), energi matahari, arus laut, dan tenaga angin. Artinya, dalam rencana besar pemerintah yang telah ditetapkan secara tegas tersebut, pengurangan konsumsi hanya dilakukan untuk minyak bumi dan bukan energi fosil pada umumnya. Pemerintah pada saat itu bermaksud untuk fokus pada diversifikasi atau diversifikasi penggunaan sumber energi sebagai pendekatan yang dipilih untuk mengendalikan laju konsumsi minyak bumi.

Program pengembangan pembangkit listrik hibrida juga dapat dilihat sebagai kebutuhan untuk mengatasi ancaman perubahan iklim akibat kenaikan suhu bumi. Dasar hukum acuannya adalah UU 16/2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim). Perjanjian yang bersifat mengikat secara hukum ini bertujuan untuk menahan kenaikan suhu rata-rata global  $< 2^{\circ}\text{C}$  di atas tingkat praindustri dan melanjutkan upaya mengurangi kenaikan suhu hingga  $1,5^{\circ}\text{C}$  di



atas tingkat praindustri melalui sejumlah program utama, termasuk pembangunan rendah emisi. Salah satu wujud nyatanya adalah melalui peningkatan penggunaan EBT yang secara jelas tertuang dalam Penjelasan Umum UU a quo. Indonesia mengimplementasikan *Paris Agreement* dalam dua cara, yaitu adaptasi dan mitigasi.

Jauh sebelum itu, dokumen Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) telah menguraikan adaptasi dan menafsirkannya dalam 2 bentuk:

1. Penyesuaian dalam sistem alami atau buatan manusia untuk menanggapi rangsangan atau efek iklim, baik aktual atau prakiraan, dengan tujuan mengendalikan bahaya yang ditimbulkan atau memberikan peluang yang menguntungkan.
2. Upaya alam atau manusia untuk beradaptasi dan mengurangi dampak perubahan iklim yang telah atau akan terjadi.

Selanjutnya, Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) mengatakan bahwa yang dimaksud dengan adaptasi perubahan iklim di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Upaya penyesuaian berupa strategi, kebijakan, pengelolaan, teknologi, dan sikap yang bertujuan mengurangi dampak (negatif) perubahan iklim, dan jika memungkinkan, dapat memanfaatkan dan memaksimalkan dampak positif perubahan iklim.
2. Upaya untuk mengurangi dampak (akibat) yang ditimbulkan oleh perubahan iklim, baik secara langsung maupun tidak langsung, baik yang terus menerus maupun yang terputus-putus dan permanen, yang disesuaikan dengan tingkat keseriusan dampak yang ditimbulkan.

Sejalan dengan itu, ada pula upaya mitigasi yang dimaknai oleh Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) sebagai hal-hal yang dapat mengurangi gas rumah kaca di atmosfer, misalnya membangun pembangkit listrik dengan emisi gas rumah kaca yang lebih sedikit atau mengurangi emisi gas rumah kaca dalam kebutuhan listrik. Definisi tersebut diperjelas dalam Pasal 7 Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Peraturan ini menjelaskan bahwa mitigasi perubahan iklim merupakan upaya pengendalian untuk mengurangi risiko akibat perubahan iklim melalui kegiatan yang dapat menurunkan emisi/meningkatkan penyerapan gas rumah kaca dari berbagai sumber emisi. Berdasarkan penjabaran tersebut, dapat disimpulkan bahwa program pengembangan pembangkit listrik hibrida merupakan bagian dari upaya mitigasi perubahan iklim.

Negara-negara yang berpartisipasi dalam Konvensi Paris menyadari bahwa adaptasi adalah kebutuhan mendasar saat ini. Namun, langkah-langkah mitigasi yang lebih tinggi dan dilakukan secara simultan akan mengurangi kebutuhan upaya adaptasi tambahan. Sementara itu, kebutuhan akan adaptasi yang lebih baik akan mengakibatkan kebutuhan biaya yang lebih besar. Dengan kata lain, memaksimalkan pendekatan mitigasi akan menghasilkan efisiensi biaya. Dalam konteks penelitian ini, pembangunan pembangkit listrik hibrida yang paralel dengan pembangunan pembangkit listrik EBT merupakan upaya mitigasi untuk meminimalkan biaya menginternalisasi eksternalitas yang timbul akibat keberadaan pembangkit fosil dalam jangka panjang.



## 6. ANALISIS PEMANGKU KEPENTINGAN

Pemangku kepentingan meliputi semua pihak, baik individu/kelompok atau organisasi, yang terkait dengan program peningkatan peran EBT di Indonesia. Pemetaan pemangku kepentingan harus dilakukan untuk mengidentifikasi aktor-aktor yang aktif dan bersedia mendukung transisi energi di daerah. Dalam proses identifikasi ini, pemangku kepentingan dievaluasi kepentingan dan perannya dalam upaya peningkatan peran energi terbarukan. Berdasarkan fungsinya, pemangku kepentingan dapat dikategorikan menjadi pemangku kepentingan utama (mereka yang memiliki pengaruh langsung terhadap program), pemangku kepentingan sekunder (mereka yang memiliki pengaruh tidak langsung terhadap program) dan pemangku kepentingan tersier (mereka yang tidak terkait dengan program, tetapi akan terpengaruh oleh dampak program). Pemangku kepentingan antara lain:

### **Pemerintah Pusat**

Upaya peningkatan peran EBT menuntut pendekatan yang sistematis dan komprehensif. Oleh karena itu, upaya ini dijadikan agenda kerjasama antar-kementerian. Kementerian yang terlibat tidak hanya Kementerian ESDM, tetapi juga kementerian lain, seperti Kementerian Lingkungan Hidup, Kementerian Dalam Negeri, Kementerian Perindustrian, Kementerian Badan Usaha Milik Negara, dan Kementerian Keuangan. Kementerian Dalam Negeri mengawal peran Pemda di bidang energi dalam kerangka otonomi daerah. Sementara itu, contoh peran penting Kementerian Badan Usaha Milik Negara adalah menetapkan Pertamina dan PLN untuk mengintegrasikan EBT dalam strategi dan proses bisnis mereka. Pemerintah juga memiliki tanggung jawab untuk menciptakan keharmonisan yang dinamis di antara semua pemangku kepentingan terkait transisi energi. Penting untuk diketahui bahwa para pemangku kepentingan ini memiliki posisi bersaing dalam beberapa hal. Agenda eksekutif yang jelas dalam kepentingan nasional jangka panjang akan sangat membantu mengatasi masalah ini.

### **Pemerintah Daerah**

Pemerintah daerah, baik di tingkat provinsi maupun wilayah, berperan penting dalam transisi energi. Selain mengeluarkan kebijakan terkait transisi energi, Pemda memiliki kapasitas untuk memberikan contoh kepada masyarakat tentang upaya menuju energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Anggaran



daerah dapat dialokasikan untuk mewujudkan hal itu, misalnya dengan memasang PLTS di gedung pemerintahan dan infrastruktur publik. Anggaran ini dimanfaatkan juga untuk menjaga terpenuhinya kebutuhan operasional dan pemeliharaan yang memadai. Bersama dengan lembaga legislatif daerah, Pemda dapat merumuskan dan menerapkan peraturan yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang mendukung pengembangan EBT. Ada berbagai pilihan kebijakan dan peraturan yang dapat diterapkan, seperti kewajiban memasang PLTS di atap gedung komersial pada tingkat tertentu sebelum izin konstruksi atau izin operasional dikeluarkan. Lebih jauh, dengan meningkatkan afirmasi strategis melalui berbagai piranti kebijakan dan regulasi, pemerintah daerah mampu menumbuhkan berbagai perusahaan yang bisnisnya berbasis pada EBT.

### **Institusi legilastif.**

Lembaga legislatif di semua tingkatan memiliki hak dan kemampuan untuk memasukkan EBT ke dalam agenda politik dan berbagai peraturan perundang-undangan. Oleh karena itu, lembaga legislatif memiliki posisi yang sangat strategis dalam transisi energi. Lembaga legislatif diharapkan bisa menciptakan strategi kerjasama yang baik dengan pemerintah dalam hal mendukung pertumbuhan industri EBT skala nasional. Ini merupakan hal strategis untuk mengurangi laju impor berbasis EBT dan bahkan bertahap mengembangkan ekspor EBT. Hal ini dapat dipenuhi dengan memberikan kebijakan yang lebih kuat untuk pelayanan nasional dan penyediaan barang untuk memenuhi permintaan. Selain itu, lembaga legislatif juga merupakan pemain vital dalam menciptakan keharmonisan antar-pemangku kepentingan yang melakukan transformasi strategi dan budaya di usaha mereka akibat transisi energi. Agar hasil yang baik tercapai, pendekatan hukum dan politik sangat penting dilakukan untuk memitigasi hubungan persaingan antar-pemangku kepentingan.

### **Institusi perbankan/keuangan.**

Otoritas Jasa Keuangan (OJK) dapat berperan penting untuk mendukung transisi energi di Indonesia. Investasi EBT per unit kapasitas (USD/kW) di Indonesia masih cukup tinggi dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Tarif untuk PLTS atap misalnya, masih belum optimal untuk mengundang partisipasi masyarakat yang lebih besar. Kondisi ini membuat lembaga keuangan ragu memberikan pinjaman untuk pembangunan yang berkaitan dengan EBT. Lembaga keuangan harus diyakinkan tentang risiko penerapan EBT sehingga transisi energi dapat berjalan dengan baik.

### **Sektor usaha skala besar di bidang energi fosil dan terbarukan.**

Usaha skala besar didefinisikan sebagai perusahaan yang omzet tahunannya lebih dari 50 miliar rupiah dengan jumlah tenaga kerja lebih dari atau sama dengan 100 orang. Bisnis skala besar di sektor energi fosil tentu saja



berpengaruh terhadap pelaksanaan transisi energi. Perusahaan berbasis fosil dapat berkontribusi dengan mengubah strategi dan budaya bisnis mereka agar sesuai untuk sistem energi berkelanjutan. Salah satu tantangan terbesarnya adalah mereka harus melakukan internalisasi berbagai eksternalitas yang ada dalam proses bisnis. Hal yang sama berlaku juga bagi perusahaan di bidang EBT. Dengan modal besar dan kekuatan jaringan mereka, perusahaan-perusahaan tersebut dapat memberikan dukungan yang signifikan di berbagai bagian rantai pasokan EBT. Sektor usaha dapat memperkuat kapasitasnya untuk menciptakan manfaat yang luas dan jangka panjang, seperti penurunan impor teknologi dan penyediaan lapangan kerja baru.

### **Badan Usaha Milik Negara (BUMN).**

Indonesia memiliki lebih dari 70 Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang terbagi ke dalam 12 klaster. Terdapat dua klaster yang penting terkait dengan transisi energi, yaitu (1) industri energi, minyak, dan gas, dan (2) industri mineral dan batu bara. Seperti halnya badan usaha lainnya, BUMN dapat memainkan peran penting dengan mengubah strategi dan model bisnis yang cocok untuk sistem energi berkelanjutan. Selain memiliki misi untuk memenuhi target pemerintah di bidang energi, BUMN memiliki kekuatan yang lebih kuat untuk meningkatkan kecepatan tercapainya transisi energi. Misalnya, PLN dapat secara signifikan mengurangi kapasitas PLTU dan beralih ke pembangkit EBT.

### **Entitas Bisnis Lokal.**

Koperasi dan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) dapat berperan aktif dalam transisi energi. Saat ini, pemerintah dan banyak lembaga donor sedang mempromosikan kemitraan publik-swasta atau struktur kolaborasi lainnya untuk menerapkan EBT di daerah [42]. Badan usaha lokal memiliki peluang besar dalam peningkatan inisiatif ini dengan mengembangkan dan mengelola proses bisnis baru berbasis EBT. Hal ini dapat dikelola dengan melibatkan sumber daya lokal secara inklusif. Kelembagaan lokal ini merupakan salah satu pilar untuk memastikan manfaat lokal yang signifikan dari sistem desentralisasi EBT. Hal ini juga akan mewujudkan karakteristik pengembangan EBT dengan adanya keterlibatan masyarakat lokal.

### **Lembaga Pendidikan Formal.**

Universitas dan sekolah kejuruan merupakan pemangku kepentingan yang berperan signifikan dalam transisi energi. Peningkatan kapasitas masyarakat, perencanaan energi daerah dan implementasinya, serta pengembangan teknologi ET dapat dilakukan oleh lembaga pendidikan formal. Lembaga pendidikan akan meningkatkan tidak hanya kapasitas sumber daya manusia dalam aspek *hard skill* tetapi juga *soft skill*. Transisi energi berarti perubahan dalam banyak aspek pada suatu sistem energi. *Hard skill* dan *soft skill* yang dikembangkan juga merupakan

syarat penting untuk mengurangi banyak hambatan selama upaya transisi secara inovatif.

Selanjutnya, dengan meningkatkan kapasitas laboratorium dan lokakarya, institusi pendidikan memiliki kapasitas untuk memproduksi berbagai komponen teknologi energi terbarukan. Hal ini akan secara langsung mengintegrasikan institusi pendidikan ke dalam rantai pasok ET. Selain itu, sejumlah besar fasilitas ET yang dibangun dan dioperasikan dalam skema *off-grid* memerlukan dukungan dari lembaga pendidikan untuk memberikan pendampingan dan pelatihan kepada masyarakat dalam mengelola pembangkit listrik *off-grid* tersebut.

### **Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM).**

Transisi energi berarti perubahan dalam banyak aspek dalam sistem energi. Karena LSM juga memiliki jaringan yang sangat kuat, LSM dapat memainkan peran dalam menjembatani para pemangku kepentingan. Dengan menggabungkan sentuhan formal dan informal, LSM dapat membangun pengertian antara kepentingan yang bersaing dari para pemangku kepentingan yang berbeda.

LSM memiliki kesempatan untuk memberikan bantuan advokasi akar-rumput. Hal ini dapat memberikan dampak positif yang signifikan dalam berbagai aspek masyarakat untuk menyambut era baru dengan porsi peran ET yang lebih tinggi. Dengan menerapkan skema yang komprehensif, LSM dapat menunjukkan cara untuk mendapatkan keuntungan bersama yang lebih tinggi dari sistem energi baru.

### **Organisasi Keagamaan.**

Pesan keberlanjutan dan manfaat bersama dari sistem energi selaras dengan misi agama untuk selalu membangun dunia yang lebih baik bagi umat manusia. Oleh karena itu, ada kepentingan bersama yang kuat antara lembaga yang memiliki visi transisi energi berkelanjutan dan organisasi keagamaan.

### **Lembaga Adat.**

Pengambilan keputusan di tingkat lokal seringkali didasarkan pada berbagai variabel lokal, seperti aspek budaya. Seringkali pemimpin informal memiliki pengaruh kuat pada pengambilan keputusan formal yang dibuat oleh lembaga publik dan swasta.

### **Komunitas Lokal.**

Dalam skema sistem energi yang ada, masyarakat sekitar berperan sebagai konsumen energi. Kebutuhan energinya harus dipenuhi oleh penyedia energi. Dalam banyak hal, masyarakat setempat merupakan salah satu pemangku kepentingan yang memiliki peran kunci dalam mewujudkan keberlanjutan infrastruktur energi yang dioperasikan bukan oleh pelaku usaha besar. Di masa



mendatang, transisi yang signifikan akan mendorong masyarakat lokal untuk turut berperan sebagai penghasil dan bahkan pemasok energi. Di era baru ini, maka masyarakat lokal berpeluang makin besar menjadi produsen EBT.

Tabel 6-1 Matriks Pemangku Kepentingan

No.	Pemangku Kepentingan	Dukungan yang Diharapkan untuk Energi Terbarukan
1	Pemerintah Pusat	Mengembangkan dan mengimplementasikan kebijakan, undang-undang dan peraturan terkait di tingkat nasional yang menyediakan lingkungan yang kondusif untuk energi terbarukan Menyelenggarakan program peningkatan penggunaan energi terbarukan dan peningkatan kapasitas industri energi terbarukan nasional Mengelola hubungan antar pemangku kepentingan di tingkat nasional
2	Pemerintah Daerah	Mengembangkan dan menerapkan kebijakan, undang-undang dan peraturan terkait di tingkat lokal yang menyediakan lingkungan yang mendukung untuk energi terbarukan Mengelola hubungan antar pemangku kepentingan di tingkat lokal Meningkatkan kapasitas dalam rantai pasok ET
3	Institusi Legislatif	Mengembangkan seperangkat undang-undang yang menyediakan lingkungan yang memungkinkan untuk energi terbarukan Mengelola hubungan antar pemangku kepentingan
4	Perbankan/ Lembaga Keuangan	Memberikan dukungan keuangan bagi proyek energi terbarukan Meningkatkan perannya dalam pembiayaan hijau
5	Bisnis Energi Skala Besar	Meningkatkan integrasi energi terbarukan dalam skema bisnis Melakukan <i>transfer of knowledge</i> dan melakukan pemberdayaan masyarakat lokal dimana pembangkit didirikan.
6	Badan Usaha Milik Negara	Meningkatkan integrasi energi terbarukan dalam skema bisnis dan portofolionya Mendukung sinergi antar BUMN untuk menciptakan ekosistem industri ET dengan pondasi nasional yang kuat
7	Entitas Bisnis Lokal (BUMD, BUMDes, Koperasi, swasta lokal)	Berperan aktif dalam usaha pengembangan ET di daerah Meningkatkan kerjasama dengan Pemda terkait penyediaan akses energi bagi masyarakat Mencari peluang kerjasama dengan berbagai kepentingan untuk mengembangkan potensi lokal Meningkatkan kemampuan SDM dalam bidang ET Mendukung aktivitas pengembangan ET di daerah sesuai dengan tingkat kapabilitasnya Mengembangkan ekosistem pendukung bagi aktivitas pembangkitan maupun ET lokal
8	Institusi Pendidikan Formal	Mengembangkan pola pikir, pengetahuan dan keterampilan terkait energi terbarukan
9	LSM	Memberikan program advokasi terkait energi terbarukan Menyelenggarakan program pemberdayaan masyarakat terkait energi terbarukan
10	Organisasi Keagamaan	Mendorong masyarakat untuk menggunakan energi terbarukan berdasarkan nilai agama Mengelola hubungan antar pemangku kepentingan di tingkat lokal
11	Institusi Tradisional	Mendorong masyarakat untuk menggunakan energi terbarukan berdasarkan nilai lokal Mengelola hubungan antar pemangku kepentingan di tingkat lokal
12	Komunitas Lokal	Aktif dalam meningkatkan penggunaan energi terbarukan, terutama dalam aspek operasi dan pemeliharaan



## 7. MODEL BISNIS

Bagian ini membahas model bisnis yang dirancang berdasar dari pembahasan pada bab-bab sebelumnya. Titik berat dari model bisnis yang diajukan adalah kolaborasi antara para pemangku kepentingan -terutama pemerintah daerah dan entitas lokal- untuk turut dalam pembangunan ekosistem bisnis ET yang berkelanjutan. Hal ini terkait dengan semangat pemberdayaan dan peningkatan kemampuan daerah untuk meningkatkan perannya dalam era transisi energi.

### 7.1. Identifikasi parameter

#### 7.1.1. Tujuan dan Kategori

Terdapat dua tujuan utama pada model bisnis yang diidentifikasi dalam laporan: (1) untuk bertindak sebagai pedoman dalam merumuskan kembali model bisnis EBT yang ada sehingga lebih sesuai dengan tujuan-tujuan nasional, dan (2) untuk mempromosikan transisi ke model bisnis energi terbarukan yang lebih berkelanjutan dengan menekankan peran serta dari SDM dan SDA setempat.

Model bisnis ET yang diterapkan saat ini menghadapi berbagai tantangan sehingga menimbulkan beban yang besar bagi upaya transisi energi. Dalam bisnis energi surya, penyediaan lahan dan integrasi ke jaringan PLN menjadi tantangan terbesar. Hal tersebut diakibatkan dari regulasi saat ini yang kurang mampu menyeimbangkan kepentingan antara pemerintah, PLN (selaku *single-off taker*), serta pemangku kepentingan dari pihak swasta (IPP). Tantangan yang sama juga dihadapi oleh bisnis energi bayu, ditambah dengan kurangnya sumber energi bayu yang memadai di Indonesia. Diperlukan area yang luas dan kapasitas terpasang yang besar untuk mencapai skala *feasibilitas* yang layak dari jenis teknologi ini. Sehingga pada akhirnya akan membutuhkan biaya yang tinggi pula dalam implementasinya.

Terdapat berbagai skema untuk menarik minat *stakeholder* lokal untuk ikut serta dalam ET. Namun demikian dalam praktiknya, skema ini sering mengalami kendala, utamanya ketika masuk dalam pengoperasian dan pemeliharaan. Hal ini disebabkan oleh kurangnya kompetensi sumber daya manusia lokal dan juga anggaran yang tidak memadai dari pemerintah setempat. Sering kali, kapasitas manajemen lokal yang tidak memadai untuk melakukan O&M dan kurangnya koordinasi yang baik antara pemangku kepentingan lokal menjadi penyebab masalah O&M. Tantangan ini perlu segera diatasi, mengingat



skema partisipasi masyarakat memiliki potensi besar untuk memperkuat demokratisasi di sektor energi.

Transisi sistem energi menuju ET akan menyebabkan perubahan signifikan dalam rantai pasok energi. Perubahan tersebut akan menimbulkan efek pada berbagai aspek yang berkaitan dengan energi, seperti misalnya:

- Perlunya pengembangan teknologi infrastruktur sistem kelistrikan untuk mewadahi potensi ET yang tersebar di berbagai wilayah
- Berkurangnya ketergantungan pada jaringan dan penyedia utilitas energi terpusat.
- Peluang dan peran baru bagi penyedia utilitas energi.
- Adopsi platform *online* atau digital untuk otomatisasi energi, sistem pembangkitan mandiri, dan sistem manajemen efisiensi energi.
- Perubahan peta politik di sektor ketenagalistrikan yang juga didorong oleh munculnya pembangkit-pembangkit mandiri.

Di masa mendatang model bisnis energi di daerah akan didominasi oleh peran komunitas dan swasta yang lebih kuat. Kedua entitas tersebut sangat dimungkinkan menjadi mitra pemerintah utama dalam diversifikasi dan desentralisasi sistem energi. Menjadi hal yang krusial untuk menyambut “era baru dalam bisnis di sektor energi”. Dengan demikian transisi sistematis harus dilakukan di semua aspek rantai pasok energi.

### **7.1.2. Pemangku Kepentingan Utama**

Untuk dapat memberikan manfaat dalam skala luas dan jangka panjang, usaha-usaha transisi energi harus mendapatkan dukungan optimal dari berbagai *stakeholder*. Secara umum berbagai pemangku kepentingan dan dukungan yang diharapkan disajikan pada Tabel 6-1.

### **7.1.3. Aktivitas Utama (*Key Activity*)**

Dalam *business model canvas* ET, hanya aktivitas yang menghasilkan nilai bagi konsumen yang dianggap sebagai aktivitas utama. Dalam bisnis pembangkit listrik EBT *on-grid* dan *off-grid*, aktivitas pembangkit listrik adalah aktivitas utama untuk model bisnis mereka. Meskipun kedua pembangkit listrik mungkin terlibat dalam aktivitas sampingan yang melengkapi bisnis utama mereka, aktivitas sampingan ini tetap kecil dalam penyampaian nilai bisnis. Bisnis jasa terbarukan memiliki spektrum *key activities* yang lebih luas, mulai dari penyediaan jasa konsultasi energi, instalasi sistem energi, solusi pemantauan energi, operasi, dan pemeliharaan.



#### 7.1.4. Proposisi Nilai (*Value Proposition*)

Proposisi nilai menggambarkan kumpulan manfaat yang ditawarkan perusahaan kepada pelanggan yang ditentukan dalam segmen pelanggan. Nilai – nilai yang di proposisikan ini menentukan apakah pelanggan lebih menyukai satu perusahaan daripada yang lain. Proposisi nilai untuk setiap model bisnis yang ditawarkan dalam penelitian ini akan diuraikan di bawah ini:

- a) Model bisnis *off-grid*: nilai listrik skala mikro, energi bersih, iuran bulanan tetap, pendirian bisnis lokal, dan distribusi energi terdesentralisasi.
- b) Model bisnis *on-grid*: nilai keandalan pasokan listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasokan listrik *off-grid* yang terhubung. Model bisnis ini juga menawarkan harga yang diatur, dan efisiensi biaya
- c) Model bisnis layanan: solusi satu atap untuk layanan ET sehingga meningkatkan aksesibilitas dan kenyamanan, konsultasi online, teknisi bersertifikat, dan pemasangan yang terjamin keamanannya
- d) Model bisnis VPP: reduksi *capital cost* secara kumulatif sistem. Berkurangnya fluktuasi dari output listrik yang diakibatkan intermitensi, meningkatnya stabilitas kelistrikan, keamanan pasokan yang kuat, dan peningkatan leverage untuk produsen ET.

#### 7.1.5. Struktur Biaya (*Cost Structure*)

Struktur biaya dalam BMC menggambarkan semua biaya yang terkait dalam pengoperasian model bisnis, termasuk aktivitas penciptaan dan penyampaian nilai, pemeliharaan hubungan hubungan pelanggan, dan biaya lain yang terkait dengan aktivitas yang menghasilkan pendapatan bisnis. Dengan demikian, sumber daya utama, aktivitas utama, kemitraan utama, hubungan pelanggan, dan aktivitas blok saluran dapat tercermin dalam struktur biaya.

Ada empat jenis model bisnis yang dipertimbangkan dalam penelitian ini, yaitu (1) *off-grid*, (2) *on-grid*, (3) jasa, dan (4) VPP. Struktur biaya untuk model bisnis ini biasanya akan mencakup empat jenis biaya yaitu biaya modal, biaya operasional, biaya pembiayaan, dan biaya perolehan modal. Struktur biaya model bisnis *on-grid* dan *off-grid* hampir sama kecuali untuk biaya interkoneksi jaringan. Model bisnis jasa akan mencakup biaya modal dan biaya operasional, tidak termasuk biaya pembiayaan dan biaya perolehan modal. Biaya operasional biasanya akan termasuk biaya pemasaran untuk mempromosikan bisnis. Terakhir, struktur biaya VPP akan identik dengan model bisnis *on-grid*.



### 7.1.6. Aliran Pendapatan

Blok aliran pendapatan dalam BMC merepresentasikan pendapatan yang dihasilkan oleh suatu bisnis model dari setiap segmen konsumen (Ostelwarder dan Pigneur, 2010). Pendapatan suatu model bisnis dihasilkan dari nilai-nilai yang berhasil di sampaikan kepada konsumen. Pada model bisnis ET, pembangkitan tenaga listrik ataupun jasa terkait merupakan nilai utama yang diberikan. Pada model bisnis pembangkit listrik ET, harga jual listrik biasanya menjadi faktor pendorong utama aliran pendapatan. Harga listrik di pembangkit listrik on-grid berbeda dengan off-grid.

Untuk pembangkit on-grid, harga jual listrik mengikuti peraturan pemerintah. Meski terdapat ruang untuk negosiasi antara produsen listrik independen dan PLN, dalam pelaksanaannya harga tersebut mengikuti secara ketat Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 (sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Nomor 4 Tahun 2020) tentang Pemanfaatan Energi Terbarukan untuk Pembangkit Listrik.

Untuk pembangkit listrik off-grid, produsen listrik independen menjual listrik sesuai kesepakatan dengan konsumen. Secara umum, konsumen akan membidik harga serendah-rendahnya berdasar dengan tingkat willingness to pay dan keterbatasan anggaran. Dalam hal ini pemerintah tidak ikut menentukan harga.

Selain pendapatan yang dihasilkan dari penjualan listrik, pembangkit listrik dapat memilih pendapatan sampingan tambahan dari kegiatan lainnya tetapi masih terkait dengan pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga uap – terutama yang bertenaga menggunakan biomassa, biofuel, atau panas bumi – mungkin ingin memulihkan dan menjual sisa panas/uap untuk digunakan dalam pemanasan industri. Pendapatan tambahan dapat juga berasal dari pemanfaatan kelebihan listrik untuk digunakan dalam kegiatan lain seperti pemanas air. Tambahan pendapatan sampingan ini menambah keuntungan yang diterima perusahaan dan meningkatkan kelangsungan proyek.

Selain itu subsidi pemerintah dan carbon credit berpotensi menjadi sumber pendapatan tambahan meskipun tidak signifikan. Hingga saat ini tidak terdapat skema yang tersedia untuk pencairan subsidi pemerintah secara tunai atau kredit karbon. Namun, ada diskusi yang sedang berlangsung apakah pembangkit listrik ET harus 'dikompensasi' untuk kontribusinya dalam mengurangi emisi GRK. Ketika skema kredit karbon tersedia, industri yang berpolusi mungkin ingin menukar 'carbon cap' dengan pembangkit listrik ET yang tidak berpolusi.

Sedangkan untuk bisnis jasa ET, aliran pendapatan bisa berasal dari berbagai sumber. Sumber pendapatan utama akan berasal dari jasa konsultasi, jasa



instalasi solusi energi, jasa operasi, dan pemeliharaan, atau lainnya dalam kegiatan utama yang dilakukan oleh perusahaan.

## 7.2. Model Bisnis yang Diusulkan

Bagian ini mengusulkan beberapa model bisnis yang dapat diadopsi untuk mengembangkan ET di daerah. *Highlight* utama model bisnis yang diusulkan adalah tersedianya porsi bagi pemerintah daerah dan aktor lokal untuk secara aktif berpartisipasi dalam implementasinya. Model bisnis terbagi menjadi dua model yang cukup dikenal untuk pengembangan ET yaitu (1) sistem on-grid, (2) model off-grid. Di samping itu, terdapat tiga tambahan model bisnis yang cukup baru dan belum terkenal di masyarakat yaitu (1) bisnis jasa energi, (2) sistem virtual power plant, dan (3) sistem alternatif hidrogen. Penjelasan atas kelima model bisnis tersebut menggambarkan aspek-aspek dalam kegiatan bisnis ET sesuai dengan modelnya.

Implementasi kelima jenis model bisnis tersebut menuntut pengenalan lebih rinci mengenai potensi energi wilayah, besarnya permintaan energi, kondisi kelembagaan pendukung pengembangan, dan penguasaan teknologi. Masing-masing model bisnis membutuhkan struktur modal yang tidak jauh berbeda; besarnya tetap bergantung pada skala usaha yang akan dibangun. Sementara itu, kerumitan proses implementasi masing-masing jenis model bisnis juga bergantung pada situasi teknis proyek yang diusulkan.

Skala model bisnis yang semakin besar akan menimbulkan risiko yang semakin tinggi. Risiko tinggi tersebut menuntut model bisnis yang mampu menjaring dukungan banyak stakeholder. Kebutuhan modal yang besar umumnya baru dapat dipenuhi melalui kombinasi dana dari beberapa sumber pendanaan. Selain itu, instrumen pemodalan yang digunakan perlu semakin bervariasi, menuntut diversifikasi portofolio pemodalan yang tidak terbatas pada hanya pinjaman dan modal. Selain itu, proyek ET berskala besar menuntut dukungan politis dari stakeholder pemerintah daerah. Meskipun cenderung lebih rumit, model bisnis ET yang diaplikasikan dalam skala besar mampu memberikan dampak positif yang signifikan bagi pembangunan berkelanjutan.

### 7.2.1. Model Bisnis *On Grid*

Model bisnis *On-grid* berfokus pada hubungan langsung antara pengembang (IPP) dan *off-taker*. IPP Model ini merupakan alternatif yang umum diimplementasikan ketika suatu daerah telah terjangkau oleh jaringan listrik nasional. PLN sebagai *off taker* sekaligus pemilik jaringan bertindak sebagai jembatan tunggal antara IPP dan pengguna akhir. Pada model bisnis *on-grid* IPP menjual listrik ET yang telah dihasilkan langsung kepada PLN. Pada umumnya pemerintah (baik pusat maupun daerah) bertindak sebagai regulator dan pemberi



izin. Namun demikian peran tersebut dapat ditingkatkan. Pemerintah daerah melalui BUMD ataupun BUMDes-nya dapat berperan aktif sebagai aktor utama dalam menjalankan aktivitas pembangkitan ET. Hal tersebut dapat dicapai dengan kolaborasi dengan IPP ataupun BUMN yang telah lebih dulu mengimplementasikan ET dalam skala nasional. Dapat dibentuk suatu entitas bisnis baru yang mana terjadi *transfer of knowledge* kepada SDM lokal.

IPP juga melakukan hubungan langsung dengan lembaga pembiayaan seperti bank atau pemberi hibah guna mendapatkan modal. Entitas pendukung lainnya seperti kontraktor, pemasok peralatan, dan konsultan juga termasuk dalam mitra utama model On-grid. *Bussiness Model Canvas* dari On-grid pada Tabel 7-1 harus menggambarkan hubungan dan aktivitas keseluruhan dalam model bisnis yang diusulkan.

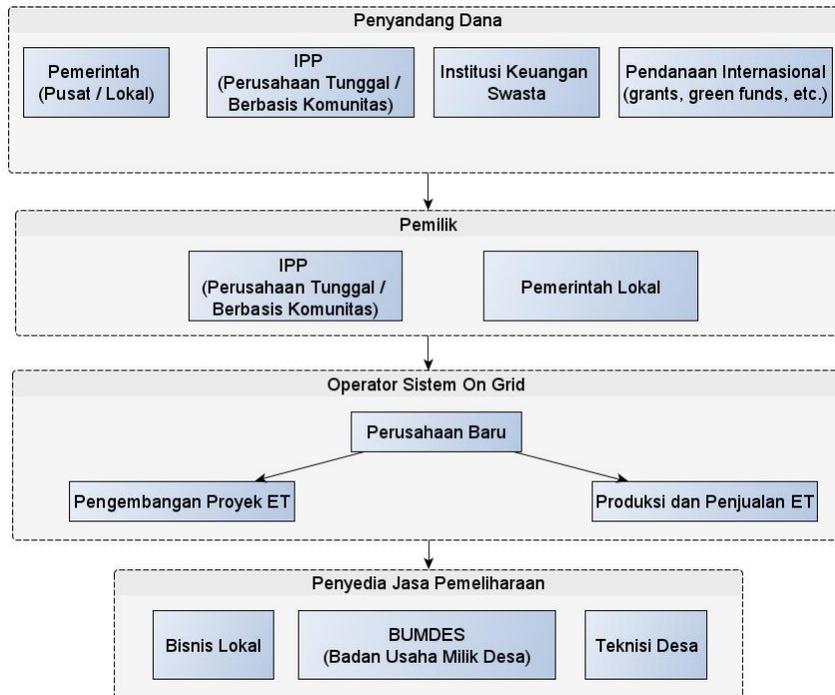
Tabel 7-1 Bussiness Model Canvas: On-Grid

<p><b>Mitra Utama</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengembang Energi Terbarukan – IPP</li> <li>▪ Pengambil Alih dan Pemilik Jaringan – PLN</li> <li>▪ Pemerintah Nasional</li> <li>▪ Pemerintah Daerah</li> <li>▪ Kontraktor (O&amp;M dan EPC)</li> <li>▪ Penyuplai Peralatan</li> <li>▪ Investor / Badan Keuangan</li> <li>▪ Konsultansi Teknis, Legal, dan Keuangan</li> </ul>	<p><b>Aktivitas Utama</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identifikasi dan mengembangkan proyek energi terbarukan</li> <li>▪ Mendapatkan izin, lisensi, dan perjanjian pembelian</li> <li>▪ Produksi dan Penjualan Energi Terbarukan</li> </ul>	<p><b>Proposisi Nilai</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keandalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan <i>off-grid</i></li> <li>▪ Cakupan pasar yang lebih besar</li> <li>▪ Harga yang diatur – pendapatan tetap</li> </ul>	<p><b>Kemitraan Pelanggan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produksi Listrik</li> <li>▪ Penjualan Listrik</li> <li>▪ Perjanjian Pembelian Daya</li> <li>▪ Manajemen Akun</li> </ul>	<p><b>Segmen Pelanggan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengambil alih (Langsung)</li> <li>▪ Sektor Industri (Tidak Langsung)</li> <li>▪ Rumah Tangga (Tidak Langsung)</li> </ul>
<p><b>Struktur Biaya</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengeluaran Modal: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bangunan, Akuisisi Lahan</li> <li>▪ EPC</li> <li>▪ Studi Kelayakan, Perencanaan, Perizinan</li> <li>▪ Interkoneksi Jaringan</li> <li>▪ Biaya keuangan</li> <li>▪ Biaya akuisisi modal</li> <li>▪ Biaya Operasional: Pemeliharaan, penggantian peralatan, administrasi umum, tenaga kerja</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Sumber Daya Utama</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sumber Daya Terbarukan</li> <li>▪ Infrastruktur Transmisi</li> <li>▪ Pekerja Ahli</li> <li>▪ Data (potensi energi, pasar, dsb.)</li> <li>▪ Modal (pembiayaan internal, hibah, dsb.)</li> <li>▪ Insentif</li> </ul>	<p><b>Saluran</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penjualan langsung ke Pengambil Alih</li> </ul>	<p><b>Arus Pendapatan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arus pendapatan utama: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penjualan listrik dari PLN dengan harga sesuai dengan Peraturan Kementerian</li> <li>▪ Suntikan modal dan/atau hibah</li> <li>▪ Subsidi</li> <li>▪ Kredit karbon</li> </ul> </li> <li>▪ Arus pendapatan tambahan: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pendapatan di luar pembangkitan listrik, seperti <i>eco-tourism</i>, layanan edukasi listrik, dsb.</li> </ul> </li> </ul>	



Seperti disebutkan sebelumnya, model bisnis on-grid memiliki dua pemangku kepentingan sebagai pemilik; pemerintah dan IPP. Pemerintah ataupun institusi perbankan lainnya dapat bertindak sebagai pemilik ataupun investor setelah langsung mendanai proyek tersebut. Pemilik pembangkit dapat merupakan gabungan antara IPP secara swadaya dan pemerintah daerah. Kepemilikan gabungan ini diharapkan dapat meningkatkan *sense of belonging* kepada suatu proyek ET.

Dimana dalam hal pemerintah turut serta sebagai pemilik, maka penyelenggaraan IPP baru dalam lingkup daerah akan berbentuk suatu entitas baru. Entitas tersebut kemudian melakukan aktivitas pengembangan dan pembangkitan ET pada cakupan daerah. Meski model bisnis ini relatif sederhana dimana penjualan listrik dilakukan hanya kepada PLN sebagai *single-off taker*, namun peran dari entitas lokal tetap perlu untuk dikedepankan. Peran ini dapat berupa penyediaan jasa pemeliharaan pada pembangkit-pembangkit yang ada di daerah. Seperti misalnya perawatan panel surya, perawatan area sekitar pembangkit, *pre-processing* untuk bahan baku bio-energi, dan lain sebagainya. Dengan kolaborasi yang kuat antar stakeholder diharapkan penetrasi ET di daerah akan semakin lancar dan dapat memaksimalkan utilitas SDA dan SDM daerah. Struktur pemangku kepentingan dari model bisnis *on grid* dapat dilihat di Gambar 7-1.



Gambar 7-1 Struktur Pemangku Kepentingan Model Bisnis On - Grid



### 7.2.2. Model Bisnis *Off Grid*

Pada umumnya model bisnis ET off-grid diimplementasikan pada daerah-daerah yang tidak feasible untuk dijangkau oleh jaringan listrik nasional. Model bisnis *off-grid* memiliki karakter yang terdesentralisasi dan terisolasi dari sistem kelistrikan utama nasional. Model bisnis ini mengedepankan proposisi nilai berupa ekosistem kelistrikan skala mikro yang dapat menjangkau wilayah terpencil seperti misalnya daerah-daerah 3T. Teknologi yang digunakan sering merupakan teknologi umum yang memerlukan maintenance rendah. Salah satu tantangan utama dalam model bisnis ini adalah melatih SDM lokal untuk dapat melakukan aktivitas pembangkitan, pengelolaan, dan pemeliharaan instalasi listrik secara swadaya. Selain itu karena ketiadaan jaringan listrik PLN, maka jaringan listrik yang bersifat lokal pun perlu dilakukan secara mandiri. Oleh karena itu alih keahlian diperlukan dari pengembang ET ke masyarakat lokal apabila nantinya suatu pembangkit ET akan dikelola secara swadaya oleh masyarakat. Pemilihan teknologi pada model bisnis ini pun perlu dilakukan secara seksama sesuai dengan level SDM setempat. Pengelolaan secara swadaya menjadi penting karena letak geografis daerah sasaran model bisnis off-grid yang sulit dijangkau.

Masuknya listrik ke daerah terpencil yang sebelumnya tidak terjangkau dapat memicu tumbuhnya aktivitas-aktivitas ekonomi baru. Pengembangan sistem off-grid akan memaksimalkan pemanfaatan sumber-sumber ET yang bersifat lokal dan meningkatkan geliat ekonomi daerah tersebut. Oleh karenanya penting bagi model bisnis ini untuk berfokus dan menargetkan sektor industri dan rumah tangga lokal.

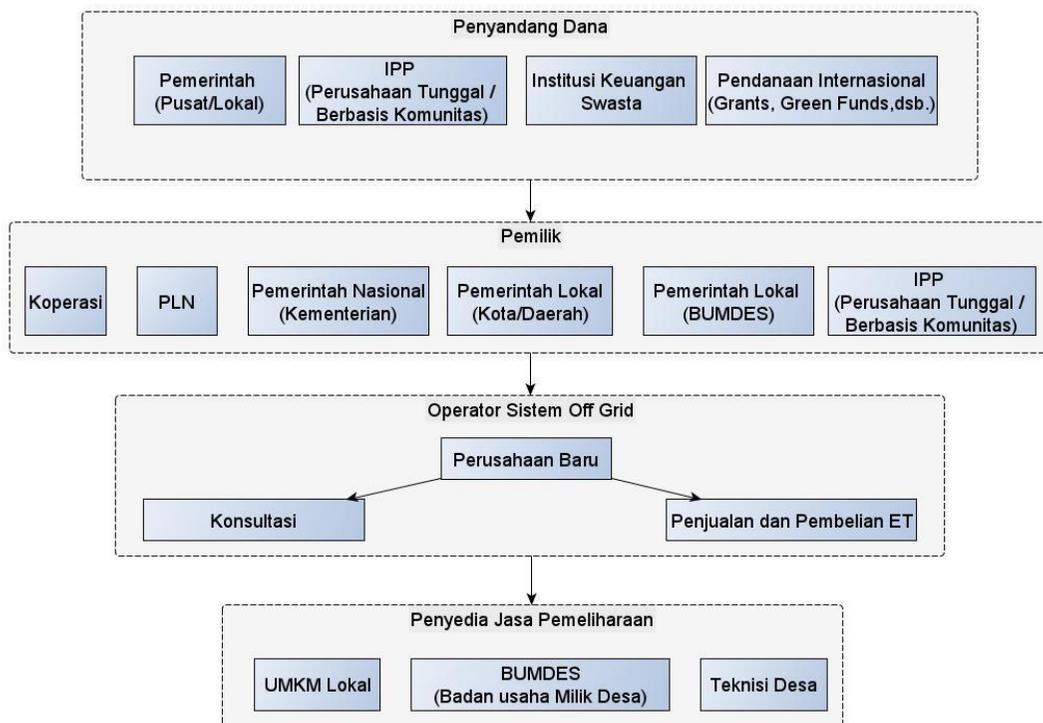
Dalam hal pendanaan, model bisnis ini dapat memadukan baik dana pemerintah, swasta, maupun dana hibah internasional. Dikarenakan skalanya yang relatif kecil masyarakat juga bisa turut berpartisipasi dalam skema pendanaan secara swadaya. Selain itu dapat pula dihasilkan aliran pendapatan dari luar aktivitas utama pembangkitan listrik, seperti misalnya: *eco-tourism*, pengelolaan sampah untuk bahan bakar, koperasi listrik, dll.

Tabel 7-2 berikut memperlihatkan poin-poin utama model bisnis off-grid. Pada Gambar 7-2, struktur pemangku kepentingan dari model bisnis ini dijelaskan. Pemerintah, IPP, bank swasta, dan Lembaga Pendanaan Internasional berperan institusi penyandang dana untuk proyek ET off-grid. Pada umumnya pemerintah daerah dan institusi yang bersifat lokal lebih mengenal daerahnya dibandingkan dengan pemerintah pusat, baik secara tata kelola, ketersediaan sumber daya alam, dan kemampuan sumber daya manusia. Oleh karena itu pengajuan rencana pengembangan ET yang bersifat *bottom-up* diharapkan dapat memberikan gambaran kebutuhan teknologi dan dana yang lebih presisi.



Tabel 7-2 Business Model Canvas: Off-Grid

<b>Mitra Utama</b> Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) Pemerintah Daerah Kontraktor Perusahaan Kerja Sama Pemerintah Nasional Sponsor Proyek	<b>Aktivitas Utama</b> Kepemilikan Saham Sponsor Swasta Pendirian Perusahaan Proyek Jasa Listrik Evaluasi Data Teknis	<b>Proposisi Nilai</b> Listrik Skala Mikro Teknologi Terbarukan Energi Bersih Biaya Bulanan Tetap Pendirian Bisnis Lokal Distribusi Energi Terdesentralisasi	<b>Kemitraan Pelanggan</b> Produksi Listrik Penjualan Listrik	<b>Segmen Pelanggan</b> Sektor Industri Rumah Tangga Badan Usaha Lokal
<b>Struktur Biaya</b> Pengeluaran Modal: Bangunan, Akuisisi Lahan EPC Studi Kelayakan, Perencanaan, Perizinan Interkoneksi Jaringan Biaya keuangan Biaya akuisisi modal Biaya Operasional: Pemeliharaan, penggantian peralatan, administrasi umum, tenaga kerja		<b>Arus Pendapatan</b> Arus pendapatan utama: Penjualan listrik dari PLN dengan harga sesuai dengan Peraturan Kementerian Suntikan modal dan/atau hibah Subsidi Kredit karbon Arus pendapatan tambahan: Pendapatan di luar pembangkitan listrik, seperti <i>eco-tourism</i> , layanan edukasi listrik, dsb.		



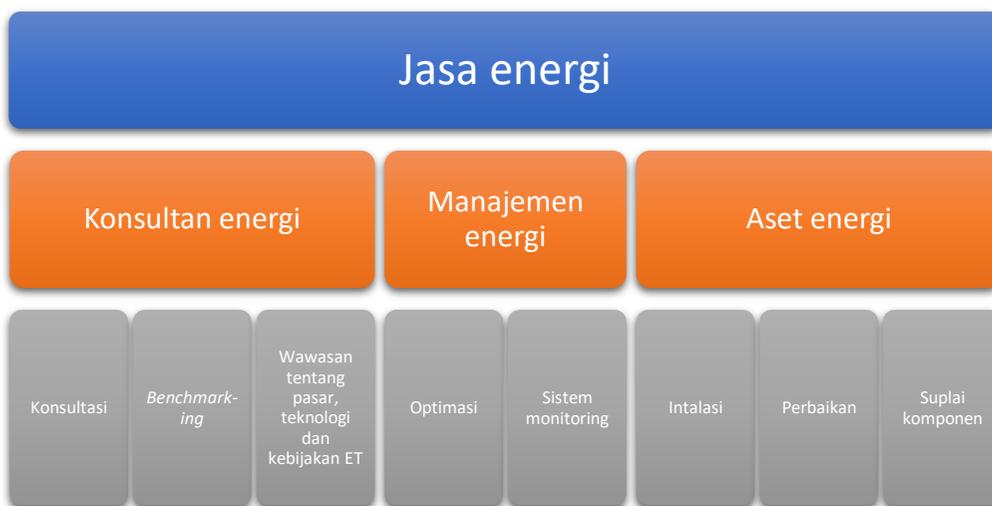
Gambar 7-2 Struktur Pemangku Kepentingan Model Bisnis Off – Grid



Kepemilikan dari bisnis ET *off-grid* dapat berupa gabungan dari koperasi, BUMDes, pemerintah pusat, maupun pemerintah daerah. Karena skala-nya yang umumnya relatif kecil kepemilikan atas ET *off-grid* juga dapat dilakukan secara swadaya masyarakat melalui sistem koperasi. Sebuah entitas baru dapat dibentuk untuk melaksanakan aktivitas pengembangan ET. Mulai dari perizinan, desain dan konsrtuksi, hingga operasi dan pemeliharaan. Karena sifatnya yang cenderung terisolasi peran masyarakat setempat dalam bentuk BUMDes maupun koperasi akan menjadi sangat sentral. Seperti halnya pada model bisnis on-grid, badan-badan usaha lokal juga dapat turut serta dalam pengelolaan infrastruktur ET *off-grid* dengan memberikan layanan-layanan pendukung.

### 7.2.3. Model Bisnis Jasa Energi (*Energy Service Provider*)

Konversi sumber-sumber energi fosil ke menuju ET di sektor ketenagalistrikan menciptakan tantangan baru usaha pemenuhan kebutuhan energi konsumen. Tantangan yang muncul seiring dengan meningkatnya peran pembangkit ET intermiten seperti tenaga angin dan surya antara lain adalah munculnya kebutuhan akan prediksi *supply-demand* yang lebih ekstensif, fleksibilitas *demand*, kepastian pasokan baik suku cadang maupun bahan bakar, jaringan yang lebih andal, dan kemampuan menyeimbangkan penyeimbangan jaringan yang lebih baik.



Gambar 7-3 Berbagai Jenis Layanan yang Ditawarkan oleh Penyedia Layanan Energi

Model bisnis jasa energi dapat menjadi solusi atas tantangan-tantangan tersebut. Model bisnis jasa enegi merupakan model inovatif di mana penyedia layanan energi (*Energy Service Provider* -ESP) -seperti perusahaan EPC maupun ICT- dapat menawarkan berbagai jenis layanan untuk men-support aktivitas operasi, pemeliharaan, dan penjualan produksi pembangkit listrik ET. Sehingga suatu



entitas bisnis yang berkecimpung di sektor ET tidak hanya berfokus pada aktivitas produksi energi saja. ESP dapat memberikan jasa terintegrasi yang menggabungkan konsultasi energi, instalasi infrastruktur, pemeliharaan, solusi manajemen energi, serta berbagai bentuk layanan lain untuk *end-user*. Jenis-jenis layanan yang dapat disediakan oleh ESP dijelaskan dapat dilihat pada Gambar 7-3.

Terdapat tiga peran atau aktivitas utama dalam model bisnis jasa energi. Pertama, yakni sebagai konsultan energi yang bertugas membantu konsumen merumuskan strategi sesuai dengan kebutuhan dan karakter penggunaan energinya. Kedua yaitu solusi manajemen energi melalui pemantauan dan optimalisasi beban kelistrikan. Ketiga, yakni jasa terkait aset-aset infrastruktur energi baik instalasi maupun perbaikan serta pemeliharaan. Layanan yang dapat diberikan misalnya instalasi perangkat pembangkit ET baik *on-grid* maupun *off-grid*, instalasi sistem *storage*, dan jasa lain terkait pemeliharaan termasuk penyediaan suku cadang. Ketiga jenis layanan tersebut dapat ditawarkan baik pada konsumen IPP maupun konsumen rite. Keunggulan utama model bisnis ini adalah kemampuan untuk memberikan solusi satu atap bagi pelaku bisnis ET. BMC model bisnis layanan energi dapat dilihat pada Tabel 7-3 berikut:

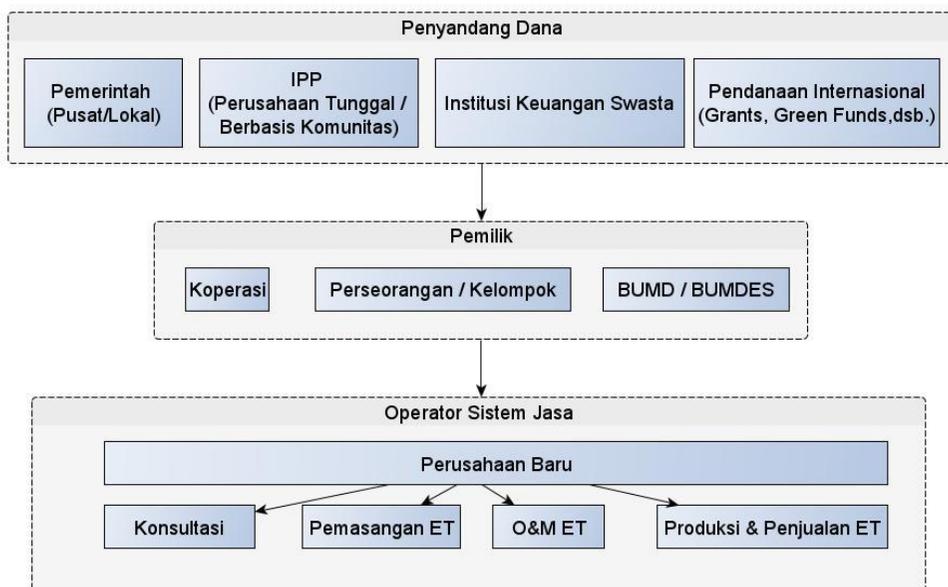
Tabel 7-3 Business Model Canvas Model Bisnis Jasa

<b>Mitra Utama</b> PLN Independent Power Producer (IPP), baik perusahaan perseorangan maupun berbasis komunitas BUMD Perseorangan	<b>Aktivitas Utama</b> Konsultasi terkait perencanaan / implementasi ketenagalistrikan, energi terbarukan, efisiensi energi, energi Instalasi peralatan kelistrikan, pemantauan, dan optimisasi manajemen energi Jasa perbaikan untuk sistem kelistrikan rumah tangga dan industri	<b>Proposisi Nilai</b> Layanan <i>one stop solution</i> / solusi terintegrasi untuk layanan ET Konsultasi teknis <i>online</i> pada tenaga ahli yang memiliki sertifikasi standar internasional Peralatan yang terpasang memiliki garansi keselamatan	<b>Kemitraan Pelanggan</b> Produksi listrik Penjualan Listrik Memberikan saran terkait energi Manajemen energi Instalasi aset energi	<b>Segmen Pelanggan</b> Rumah Tangga Industri Pemda Perusahaan swasta/ perorangan/ berbasis komunitas
	<b>Sumber Daya Utama</b> Tenaga Ahli/ Konsultan Tenaga ahli teknis/ Teknisi yang berlisensi		<b>Saluran</b> Perusahaan komunikasi Kantor pos (menjadi salah satu tempat pembayaran bagi konsumen) Agen	
<b>Struktur Biaya</b> Pengeluaran Modal: bangunan, lahan, kendaraan, peralatan kantor Biaya Operasional: sewa kendaraan, pengeluaran pemasaran, biaya tenaga kerja, administrasi umum (pajak, perizinan)		<b>Arus Pendapatan</b> Pendapatan dari jasa konsultasi Pendapatan dari layanan sistem <i>monitoring</i> Pendapatan dari jasa instalasi dan perbaikan		



Seperti halnya pada model bisnis lain, penyandang dana pada model bisnis jasa energi dapat berasal dari pemerintah (baik pusat maupun daerah), IPP, sektor perbankan swasta, dan juga dana hibah internasional. Kepemilikan dari model bisnis ini dapat merupakan gabungan dari koperasi sebagai representasi dari swadaya masyarakat, investor swasta, maupun pemerintah daerah melalui BUMDes. Kegiatan bisnis jasa energi dilakukan oleh suatu entitas baru yang dibentuk berdasar dari struktur kepemilikan entitas tersebut. Dengan Kerjasama antar lembaga diharapkan terjadi *transfer of knowledge* dari pelaku usaha ET tingkat nasional ke SDM di tingkat daerah.

Tabel 7-4 Struktur Pemangku Kepentingan Model Bisnis Jasa



### 7.2.4. Sistem Virtual Power Plant (VPP)

Berdasarkan analisis potensi, sumber energi terbarukan yang paling melimpah di Provinsi Kalimantan Timur, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur adalah tenaga surya, air, dan angin. Tenaga surya dan angin memiliki karakter *output* yang fluktuatif dan intermiten karena ketergantungannya pada kondisi lingkungan, selain itu sumber tersebut membutuhkan area instalasi yang relatif lebih luas per satuan energi yang dihasilkan apabila dibandingkan dengan sumber-sumber energi lain. Karakteristik tersebut menjadikan sumber-sumber energi yang ada di ketiga provinsi tersebut bersifat terdistribusi.

Teknologi *Virtual Power Plant* (VPP) merupakan adalah salah satu cara teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas pembangkit listrik. Sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan daya saing



pembangkit ET. VPP mengintegrasikan sistem energi yang terdistribusi, sistem penyimpanan energi, dan juga fleksibilitas penggunaan daya oleh konsumen. Produsen energi dapat mengalokasikan menyalurkan kapasitas hasil produksinya mereka ke VPP untuk kemudian dikelola secara *realtime* berdasar keadaan *supply-demand balance* yang terjadi pada saat itu. Dengan demikian VPP akan dapat meningkatkan keandalan suplai energi, meningkatkan visibilitas pembangkit, dan memberikan benefit yang lebih besar pembangkit listrik terdistribusi (DER) yang umumnya memiliki skala yang kecil.

Terdapat beberapa tantangan dalam melakukan agregasi sumber-sumber energi terbarukan ke dalam VPP. Salah satunya ialah fluktuasi keluaran tenaga listrik yang dimiliki oleh pembangkit dengan sumber intermiten. Seiring dengan meningkatnya tingkat adopsi ET dengan sistem sistem DER, meningkat pula tingkat uncertainty dalam jaringan listrik. Hal ini menyebabkan penjadwalan estimasi parameter menjadi tidak optimum dan presisi dalam sistim VPP [8][9]. Selain itu, penggunaan teknologi informasi dan EMS untuk mengontrol dan mengelola aliran energi dapan menimbulkan masalah baru dari segi keamanan dan privasi. Masalah lain yang menjadi tantangan VPP antara lain ialah Ketidakpastian dan intermitensi pasokan listrik yang bersumber dari ET

- Ketidakpastian harga pasar
- Kepemilikan dan privasi data
- Keamanan *cyber*

Tabel 7-5 menunjukkan *business model canvas* dari VPP berdasarkan kondisi yang diperoleh dari *focus group discussion* dengan berbagai pemangku kepentingan. Secara umum *key partners* model bisnis VPP mirip dengan model bisnis existing dengan adanya tambahan *dispatching center*, *transmission system operator*, dan perusahaan telekomunikasi. Terdapat *key activities* yang berbeda dari model VPP dibandingkan dengan mode-model bisnis sebelumnya. Pada VPP, listrik dari sumber lokal berkelanjutan diaggregasi dan dikelola secara *realtime* berdasarkan deman saat itu. Oleh karena itu, prakiraan cuaca dan penjadwalan sangat sistem kelistrikan penting untuk memastikan bahwa tidak terjadi defisit energi selama *peak hours*. Agregasi dan sistem manajemen energi dapat mengurangi efek fluktuasi energi dari sumber intermiten yang menyebabkan rugi-rugi energi. Tindakan penyeimbangan juga diperlukan dalam jaringan VPP. Sistem penyimpanan energi dimiliki dan dimanfaatkan oleh sistem VPP.

Infrastruktur bersama pada VPP seperti sistem penyimpanan dapat mengurangi total modal yang dibutuhkan untuk keseluruhan sistem. IPP, BUMN, dan Pemerintah dapat melakukan investasi untuk kontruksi dan operasi infrastruktur bersama pendukung VPP. Sistem VPP akan memungkinkan pemanfaatan sumber daya terbarukan lokal secara maksimum, terlepas dari karakteristik ketersediaan sumber tersebut. Hal ini dikarenakan energi yang



dihasilkan dapat disimpan dan dikelola dengan lebih efisien. Sistem VPP dapat meningkatkan ketahanan energi regional dengan memastikan bahwa sumber daya yang tersedia secara lokal dapat memenuhi kebutuhan energi daerah tersebut sepanjang waktu dalam satu tahun.

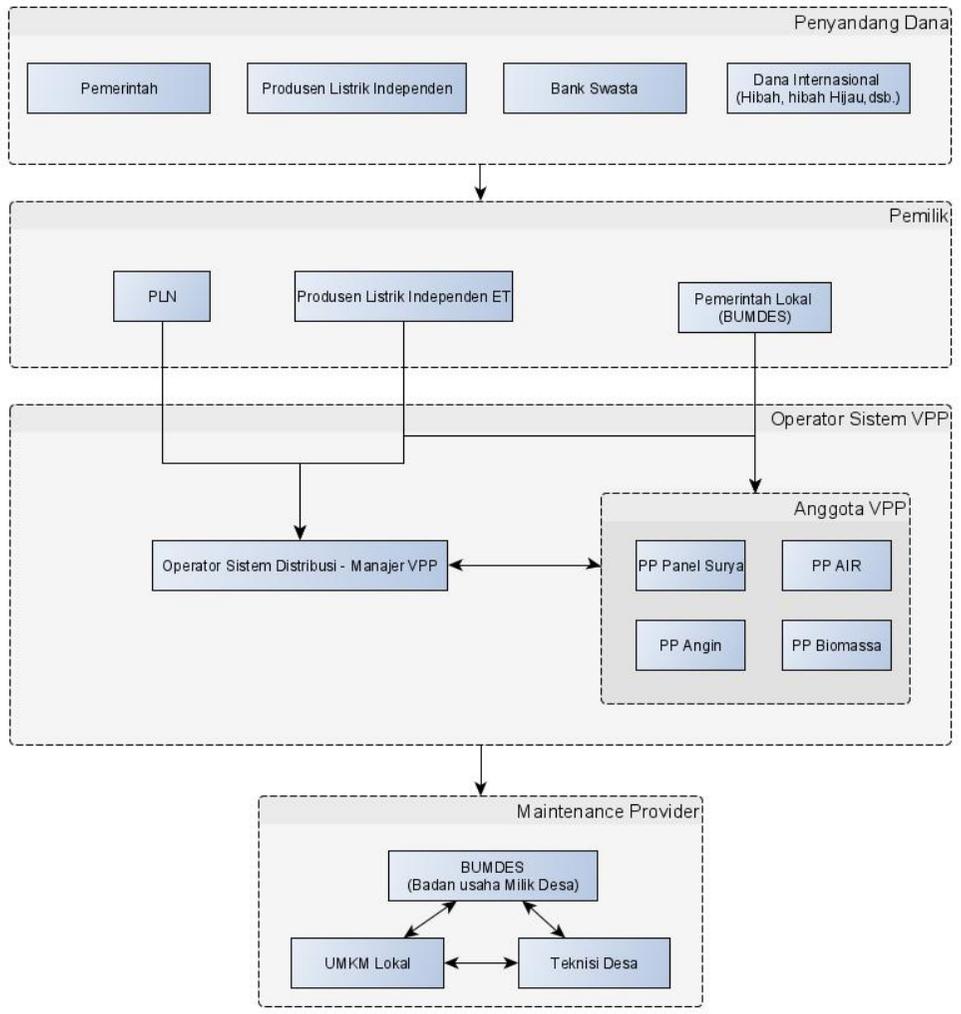
Tabel 7-5 Business Model Canvas: Virtual Power Plant

<b>Mitra Utama</b> Pemerintah Pusat Pemerintah Daerah Energi Terbarukan – Produsen Daya Independen Pengambil alih dan Pemilik Jaringan (PLN) Investor / Badan Keuangan Operator Sistem Distribusi Perusahaan Telekomunikasi	<b>Aktivitas Utama</b> Mengidentifikasi dan mengembangkan proyek energi terbarukan Membangkitkan listrik Penyatuan listrik Menyeimbangkan permintaan-suplai Menyeimbangkan intra-jaringan Penjadwalan energi Pemantauan Prakiraan cuaca	<b>Proposisi Nilai</b> Mengurangi biaya modal kumulatif karena infrastruktur bersama antara VPP Mengurangi fluktuasi keluaran karena intermitensi (energi yang dibuang lebih kecil) Meningkatkan stabilitas kelistrikan Diversifikasi energi untuk keamanan pasokan yang lebih kuat Menurunkan biaya produksi listrik keseluruhan Meningkatkan manfaat untuk penyuplai ET	<b>Kemitraan Pelanggan</b> Penjualan listrik langsung (PLN) Bisnis kepada kemitraan pemerintah	<b>Segmen Pelanggan</b> PLN sebagai pengambil alih listrik tunggal dan perumahan ketika PLN tidak ada (penjualan langsung)
	<b>Sumber Daya Utama</b> Sumber daya terbarukan lokal (surya, angin, air, biomassa) Sistem Penyimpanan Energi Sistem Manajemen Energi Platform IT Sumber daya manusia khusus Pembiayaan		<b>Saluran</b> Penjualan langsung ke pengambil alih	
<b>Struktur Biaya</b> Pengeluaran Modal: Bangunan, Akuisisi Lahan EPC Studi Kelayakan, Perencanaan, Perizinan Interkoneksi Jaringan Biaya keuangan Biaya akuisisi modal Biaya Operasional: Pemeliharaan, penggantian peralatan, administrasi umum, tenaga kerja			<b>Arus Pendapatan</b> Kontrak penjualan listrik jangka panjang dengan PLN melalui PPA (Power Purchase Agreement) Layanan tambahan untuk PLN Suntikan modal dan hibah	

Penjualan energi listrik ET perlu mengikuti ketentuan yang berlaku di Indonesia. Listrik yang dihasilkan oleh pembangkit ET hanya dapat dijual ke PLN. Dalam hal ini mode bisnis VPP tidak jauh berbeda dengan model bisnis *on-grid* dan *off-grid*. Pada sistem ini operator sistem distribusi (*distribution system operator-DSO*) tidak dalam posisi untuk membeli atau menjual tenaga listrik. Fungsi utama DSO adalah untuk mengelola dan menyeimbangkan *supply dan demand* di daerah



tersebut. Dengan demikian entitas swasta dapat bertindak sebagai DSO untuk kluster VPP mereka. IPP yang tergabung dalam VPP dapat mengelola pembangkit dan menyimpan listrik yang dihasilkan dengan sedemikian rupa untuk memaksimalkan profit. Manajemen VPP yang mandiri oleh VPP akan memaksimalkan efisiensi sistem. Sementara itu, pengelolaan *supply* dan *demand* tenaga listrik oleh VPP akan dapat dilaksanakan secara lebih baik apabila PLN sebagai BUMN utaman yang mengelola sistem kelistrikan nasional terlibat secara langsung sebagai DSO VPP. Kerjasama antara PLN dan IPP ET dapat menjadi sebagai salah satu solusi untuk masalah kelembagaan DSO dalam VPP.



Gambar 7-4 Penempatan Pemangku Kepentingan Model Bisnis VPP



Pemerintah daerah memiliki peran sentral sebagai badan koordinasi untuk rencana pengembangan VPP dan memastikan bahwa semua keputusan sesuai dengan peraturan daerah. Kepemilikan bersama VPP dan pembangkit listrik ET oleh pemerintah daerah dan swasta juga dapat memperkuat ekosistem ET dan kerjasama antara pemerintah dan sektor swasta. Badan usaha lokal dapat mendukung konstruksi, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem VPP. Sedangkan fungsi utama pembangkitan dan penyeimbangan dilakukan oleh operator Sistem VPP dan anggota IPP. Perusahaan daerah dalam skala lebih kecil seperti BUMDes, UKM lokal, dan tenaga ahli daerah dapat diberikan tugas-tugas pendukung aktivitas pembangkit sehingga tetap dapat terlibat dalam ekosistem ET daerah. Dengan memberikan peran yang seimbang antara entitas-entitas nasional, lokal, dan swasta, ekosistem ET yang terbentuk akan menjadi lebih kuat dengan rasa kepemilikan yang lebih besar di antara para *stakeholder*.

### **7.2.5. Sistem Alternatif: Sistem Energi Hidrogen**

#### **7.2.5.1. Pendahuluan Teknologi**

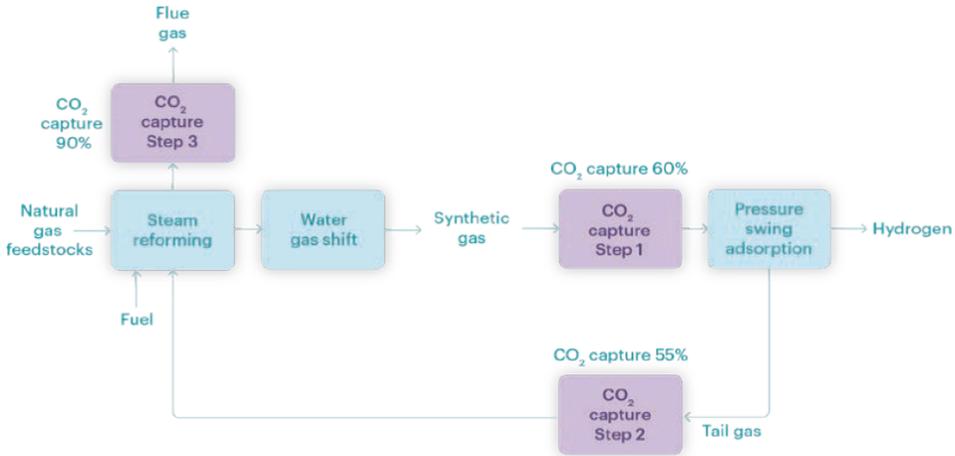
Hidrogen adalah salah satu zat yang paling umum di alam, tetapi sebagian besar hidrogen tidak dalam bentuk murni. Hidrogen harus dihasilkan dari senyawa yang mengandung hidrogen, dan dapat diproduksi dari sumber fosil, gas alam. Energi listrik yang diperoleh dari panas bumi, biomassa, angin atau energi matahari juga digunakan dalam produksi hidrogen. Namun demikian, harga produksi energi hidrogen tidak sesuai untuk saat ini. Hidrogen bukanlah energi yang diperoleh dari cadangan alam seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam, tetapi merupakan sumber energi yang diperoleh dari produksi. Umumnya, hidrogen dihasilkan dari bahan bakar fosil, nuklir, dan sumber energi terbarukan. Tujuan dalam produksi adalah untuk menjaga biaya dan emisi pada tingkat terendah. Elektrolisis air dan pembaruan uap air - metana adalah metode umum yang digunakan untuk menghasilkan hidrogen. Dengan metode reformasi, hidrogen diperoleh dari bahan bakar fosil dengan menggunakan energi panas. Sekitar 40% - 45% produksi hidrogen dihasilkan dari reformasi uap-gas, sekitar sepertiga dari reformasi minyak bumi, seperlima oleh reformasi batubara dan sekitar 4% oleh elektrolisis air.

#### **7.2.5.2. Tinjauan Metode Penyimpanan Hidrogen**

Sistem penyimpanan dan transportasi energi adalah tantangan yang terjadi saat ini dan masih berkembang sampai sekarang. Operasi penyimpanan dan transportasi setidaknya sama pentingnya dengan proses produksi. Proses ini memainkan peran penting dalam ekonomi hidrogen. Tujuan penyimpanan energi hidrogen adalah agar aman dan efisien, serta dapat digunakan di mana saja dan kapan saja. Dalam bentuk murninya, hidrogen memiliki kerapatan energi volumetrik yang rendah dan kerapatan energi gravimetri yang tinggi. Terdapat tiga



metode yang digunakan untuk menyimpan hidrogen. Ada penyimpanan fisik sebagai gas terkompresi, penyimpanan fisik sebagai hidrogen cair kriogenik, dan metode penyimpanan bentuk padat. Metode yang umum digunakan adalah penyimpanan sebagai gas terkompresi dan hidrogen cair. Hidrogen dapat ditekan dalam struktur yang sesuai hingga 700 bar dan disimpan dalam bentuk gas dalam silinder, wadah, rongga bawah tanah.



Source: IEAGHG (2017a), "Reference data and supporting literature reviews for SMR based hydrogen production with CCS".

Gambar 7-5 Proses Produksi Hidrogen dari Gas

Tabel 7-6 Elemen Transmisi, Distribusi dan Penyimpanan Rantai Nilai Hidrogen

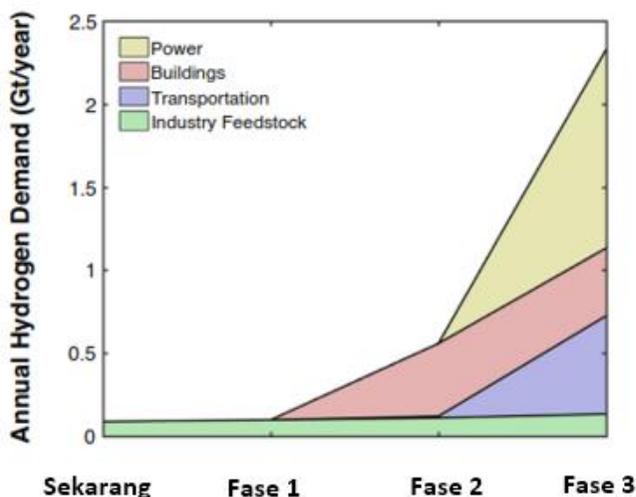


Note: LOHC = liquid organic hydrogen carrier.  
Source: IEA 2019. All rights reserved.



### 7.2.5.3. Potensi Penggunaan Hidrogen pada Saat ini dan Masa Depan

Hidrogen dihasilkan dari proses reaksi kimia. Dengan Seiring penurunan biaya pembangkitan untuk listrik ET, khususnya dari PV surya dan angin, terdapat minat yang tumbuh pada sistem hidrogen. Beberapa proyek percontohan telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir. Efisiensi sistem elektrolisis saat ini berkisar antara 60% dan 81% tergantung pada jenis teknologi dan faktor beban.



Gambar 7-6 Proyeksi Permintaan Hidrogen

Perubahan permintaan hidrogen tahunan untuk setiap sektor dibagi menjadi tiga fase dalam rencana implementasi menurut [43]. Pada fase 1, aplikasi sintesis kimia dapat dipenuhi sepenuhnya oleh hidrogen hijau. Fase 2 menunjukkan peran hidrogen dalam transisi sektor pemanas dan tugas berat serta transportasi jarak jauh ke alternatif ramah lingkungan. Pada fase 3, hidrogen akan digunakan bersamaan dengan elektrifikasi untuk masyarakat energi terbarukan 100% yang dimungkinkan oleh masyarakat hidrogen, penyimpanan energi hidrogen dan bahan bakar turunan hidrogen.

### 7.2.5.4. Alur Sistem Produksi Hidrogen

Aspek teknologi dalam produksi hidrogen merupakan kunci untuk menciptakan pemanfaatan yang berkelanjutan di masa depan. Setiap teknologi hidrogen memiliki kelebihan dan kekurangan, maka pertimbangan pemilihan teknologi yang paling tepat akan menjadi tantangan dalam pemanfaatan hidrogen di Indonesia. Penyediaan hidrogen untuk keperluan manusia perlu dilakukan dengan menggunakan proses atau teknologi. Gas alam dan batu bara merupakan bahan baku utama yang banyak digunakan dalam produksi hidrogen. Namun



demikian, ada juga terdapat alur produksi lain yang juga memungkinkan untuk diterapkan. Beberapa teknologi produksi hidrogen adalah sebagai berikut:

Tabel 7-7 Beberapa Deskripsi Teknis dalam Memproduksi Hidrogen

No.	Teknologi	Bahan Baku	Prinsip Kerja
1	Pembentukan uap	Gas Alam, methanolmetanol	Pemecahan kimia katalitik gas alam ( $CH_4$ ) menjadi CO dan $H_2$ ( <i>Synthetic gas/syn gas</i> ). Biasanya dilakukan pada suhu dan tekanan yang sangat tinggi.
2	Gasifikasi	Batubara, Biomassa	Biomassa terdegradasi secara termal dengan jumlah agen gasifikasi yang terkontrol untuk mencegah pembakaran. Hal ini dapat dilakukan baik menggunakan katalis maupun tanpa katalis.
3.	Elektrolisis	Air	Air dipecah menjadi hidrogen dan oksigen menggunakan reaksi elektrokimia. Oksigen akan diproduksi di sisi katoda.
4.	Fermentasi gelap/terang	Asam organik sederhana	Salah satu metode biokimia untuk menghasilkan biohidrogen. Proses ini membutuhkan mikroorganisme dalam proses fermentasi.
5.	Bio-fotolisis	Air	Proses biokimia air yang dibantu sinar matahari menjadi produksi hidrogen. Mikroorganisme akan memanfaatkan energi cahaya untuk memecah molekul air.

#### 7.2.5.5. Aspek Ekonomi dan Lingkungan

##### **Perbandingan Ekonomi dengan bahan bakar lain**

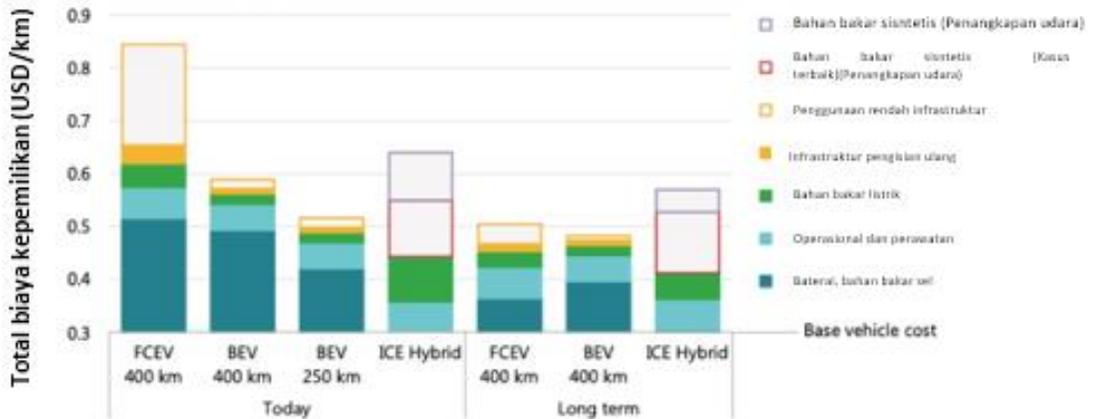
Perbandingan biaya juga harus dipertimbangkan dalam memilih penyimpanan energi seperti baterai listrik dan bensin. Biaya produksi hidrogen dapat diterima jika mampu menyediakan pilihan penyimpanan energi yang kompetitif di antara alternatif lain. Karena variasi biaya antara bahan baku hidrogen yang berbeda, cukup sulit untuk mendapatkan perbandingan yang jelas dengan bensin atau sel baterai. Namun, untuk tujuan ilustrasi, berikut ini dipaparkan beberapa kasus penggunaan dan bahan bakunya.

Di sektor transportasi, hidrogen berpotensi untuk digunakan bersama dengan *fuel cell*. Di AS, jarak distribusi 100 km diperkirakan menghasilkan harga hidrogen terkirim sebesar US\$7,5 - US\$9/kgH<sub>2</sub> (diproduksi dari gas alam dengan penangkapan dan penyimpanan karbon). Harganya kira-kira setara dengan US\$1,1 hingga US\$1,3 per liter bensin di AS.

Daya saing harga hidrogen yang digunakan untuk sektor transportasi dapat dievaluasi dari total biaya kepemilikan kendaraan. Keekonomian penggunaan hidrogen pada sektor transportasi dapat dievaluasi dari total biaya kepemilikan kendaraan (*total cost of ownership* - TCO). Saat ini Mobil mobil penumpang berbasis *hydrogen fuel cell* bahan bakar sel hidrogen memiliki saat ini TCO yang lebih mahal daripada mobil listrik berbasis baterai. Untuk bahan bakar selsel bahan bakar, tangki bahan bakar lebih mahal, dan juga dikarenakan mobil hydrogen hidrogen memang dirancang untuk memiliki jarak jangkauan yang jauh. Saat ini, total biaya kepemilikan untuk kendaraan *fuel cell electric* bahan bakar sel hidrogen (FCEV) secara signifikan lebih mahal daripada memiliki kendaraan listrik baterai (BEV)



pada jarak 400 km. Namun, jika sel bahan bakar dapat diturunkan hingga US\$50/kW seiring dengan penurunan harga baterai, FCEV memiliki potensi untuk bersaing dengan BEV pada jarak 400 km.



Notes: ICE = internal combustion engine. The y-axis intercept of the figure corresponds to base vehicle "glider" plus minor component costs, which are mostly invariant across powertrains. More information on the assumptions is available at [www.iea.org/hydrogen2019](http://www.iea.org/hydrogen2019).

Source: IEA 2019. All rights reserved.

Gambar 7-7 Perbandingan antara Hidrogen dan Bahan Bakar Lain

### Keuntungan dan pertimbangan aspek Lingkungan

Sebagai salah satu dari banyak sumber energi yang tersedia, hidrogen dapat menghasilkan manfaat dan dampak bagi lingkungan. Hidrogen telah dilihat sebagai sumber energi yang bersih karena pembakarannya hanya menghasilkan air yang tidak berbahaya. Untuk mencapai potensi manfaat penuh dari hidrogen, maka harus dipastikan proses produksinya berkelanjutan. Seperti dijelaskan sebelumnya, ada beberapa cara untuk menghasilkan hidrogen, seperti pembentukan uap methane menggunakan gas alam, gasifikasi batu bara dan hidrokarbon, elektrolisis, gasifikasi biomassa, dan tenaga nuklir. Selain itu juga ada perhatian yang meningkat untuk memproduksi hidrogen dari minyak sawit mentah (CPO). Untuk melihat dampak lingkungan dari produksi hidrogen, maka siklus hidup harus dimasukkan dalam analisis, termasuk input produksi. Bab ini akan menguraikan pertimbangan lingkungan berdasarkan metode produksi hidrogen:

Tabel 7-8 Metode Produksi Hidrogen dan Pertimbangan Lingkungan

Metode Produksi Hidrogen	Pertimbangan Lingkungan
Pembentukan uap methanametana menggunakan Gas Alam	Emisi CO <sub>2</sub> akibat aktivitas pembakaran gas alam Mengekstraksi dan mengangkut gas alam dapat merusak lanskap yang sensitif
Gasifikasi batubarabatu bara dan hidrokarbon lainnya	Penambangan batubarabatu bara dapat menurunkan kualitas tanah dan air
Elektrolisis menggunakan jaringan konvensional atau energi terbarukan	Menggunakan listrik dari energi terbarukan akan menghasilkan emisi rendah hingga nol



Metode Produksi Hidrogen	Pertimbangan Lingkungan
	Menggunakan listrik dari jaringan konvensional akan menghasilkan lebih banyak polusi dibandingkan dengan pembentukan uap metana dengan gas alam
Gasifikasi Biomassa	Bahan baku harus dibudidayakan secara berkelanjutan, sehingga menciptakan emisi pemanasan global yang rendah bahkan hingga tidak ada sama sekali. Produksi bahan baku skala besar dapat meningkatkan masalah udara, tanah, dan ekosistem.
Gasifikasi kelapa sawit menggunakan air <i>superkritissupercritical</i>	Tanaman kelapa sawit harus dibudidayakan secara berkelanjutan. Masalah lingkungan yang terkait dengan budidaya tanaman kelapa sawit adalah deforestasi, hilangnya keanekaragaman hayati, konversi lahan gambut, perubahan penggunaan lahan, emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan air.

### 7.2.5.6. Peluang Penerapan di Indonesia

Tujuan utama penerapan sistem energi hidrogen adalah untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja lingkungan dari teknologi pembangkit listrik saat ini atau masa depan sistem energi baik di saat ini maupun masa mendatang. Saat ini Bauran energi Indonesia saat ini didominasi oleh batu bara, minyak, dan gas yang menyumbang 74% dari total pasokan energinya [44]. Indonesia juga dikenal sebagai produsen *Crude Palm Oil* (CPO) terkemuka di dunia, dengan produksi 40,57 juta ton pada tahun 2018 [45]. Meskipun batubara diakui merusak lingkungan, negara ini memiliki sejumlah besar batubara dan potensi CPO yang dapat menopang pertumbuhan ekonomi jangka pendek hingga menengah. Oleh karena itu, komoditas ini sangat penting dan dipandang sebagai salah satu modal utama pembangunan nasional bagi pemerintah Indonesia. Sistem energi hidrogen berpotensi menghilangkan kerugian lingkungan dari produksi energi dari sumber daya tersebut.

Sistem energi hidrogen dapat meningkatkan kinerja sistem energi terbarukan dengan bertindak sebagai sistem penyimpanan skala menengah hingga besar. Sebuah proyek percontohan telah diselenggarakan untuk mempelajari sistem semacam ini, seperti di Baron Technopark, sebagai yang merupakan hasil kolaborasi antara BPPT dan Toshiba [46]. Biaya hidrogen terbarukan juga diperkirakan akan menurun dan menjadi kompetitif dengan bahan bakar fosil [47]. Melihat Menilik ketergantungan negara saat ini pada bahan bakar fosil dan upaya yang agresif untuk mencapai pangsa pemanfaatan terbarukan yang tinggi, sistem energi hidrogen dapat menjadi pilihan yang layak untuk mendukung transisi energi yang mulus secara halus.

Integrasi sistem energi hidrogen pada tingkat sistem energi regional memerlukan pertimbangan yang cermat matang dari berbagai faktor multidimensi. Jenis sumber daya yang tersedia dan pembangkit listrik yang ada di wilayah tersebut dapat menentukan kelayakan sistem hidrogen untuk dipasang. Misalnya, ketika energi terbarukan yang sangat fluktuatif hadir dalam skala besar, sistem hidrogen akan efektif. Dengan penurunan yang cepat dalam biaya teknologi,

semakin banyak bauran energi yang akan dipenuhi dari energi angin dan matahari, masalah intermiten akan lebih jelas dalam sistem. Penyimpanan skala besar yang tepat akan menjadi penting agar daya yang dihasilkan tidak terbuang sia-sia karena investasinya yang mahal. Daerah penghasil CPO juga dapat mengambil manfaat dari sistem dengan memproses *Palm Oil Mill Effluence* (POME) dengan fermentasi gelap untuk menghasilkan hidrogen. Besarnya permintaan-penawaran energi harus diperhatikan karena sistem hidrogen akan lebih ekonomis dalam ukuran yang lebih besar [48]. Sistem hidrogen juga dapat membantu mengatasidapat digunakan sebagai penyeimbangan energi musiman karena kemampuannya menyimpan energi dalam jangka waktu yang lebih lama dengan kerugian rugi-rugi yang rendah apabila disimpan dalam bentuk LOHC atau amonia [49]. Dibandingkan dengan penyimpanan baterai, sistem ini memiliki lebih banyak bagian yang harus dipasang dan relatif lebih rumit untuk dipasang dan dioperasikan. Tenaga kerja dengan tingkat keterampilan yang lebih tinggi mungkin diperlukan untuk memelihara sistem.

Hidrogen memiliki metode pemanfaatan yang fleksibel, baik dengan mengubahnya menjadi listrik menggunakan sel bahan bakar atau dengan pembakaran langsung untuk menghasilkan tenagaenergi. Karena fleksibilitasnya sebagai pembawa energi, hidrogen telah diadopsi oleh negara-negara Uni Eropa dalam bauran energi mereka. Campuran hidrogen-gas alam dapat memanfaatkan jaringan Jaringan distribusi gas yang ada untuk dapat dimanfaatkan secara langsung mengangkut untuk menyalurkan campuran hidrogen dan gas alam untuk keperluan perumahan dan industri. Implementasi di Indonesia memiliki tantangan yang lebih jika dibandingkan dengan negara-negara Uni Eropa. Indonesia memiliki infrastruktur jaringan distribusi gas yang terbatas dan Jawa-sentris, sampai saat ini infrastruktur gas kota dikembangkan di Prabumulih, Sumatera [50]-. Implementasi hidrogen di luar Pulau Jawa akan membutuhkan modal yang besar untuk membangun fasilitas baru dan jaringan distribusi gas. Sebagai alternatif, listrik dari energi terbarukan dapat dikonversi ke DME [51] [52], memungkinkan untuk disimpan dan dicampur dengan gas LPG dan menggunakan infrastruktur yang ada untuk distribusi. Dengan menggunakan DME sebagai media penyimpanan energi berpotensi menurunkan keseluruhan investasi yang dibutuhkan. Rumah tangga juga akan mudah beradaptasi dengan sistem tanpa harus membeli perangkat keras baru.

Sebagian besar proyek energi terbarukan di Indonesia masuk dalam perencanaan pembangkitan kapasitas skala kecil hingga menengah. Banyak dari proyek-proyek ini berlokasi di luar Pulau Jawa dengan memanfaatkan sumber daya energi lokal yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan lokal. Tidak seperti sistem energi baterai dengan karakteristik ukuran yang sangat fleksibel, alih-alih menurunkan biaya energi akhir, sistem hidrogen dapat membebani sistem secara ekonomis keekonomian jika kapasitasnya terlalu kecilkapasitas yang terpasang



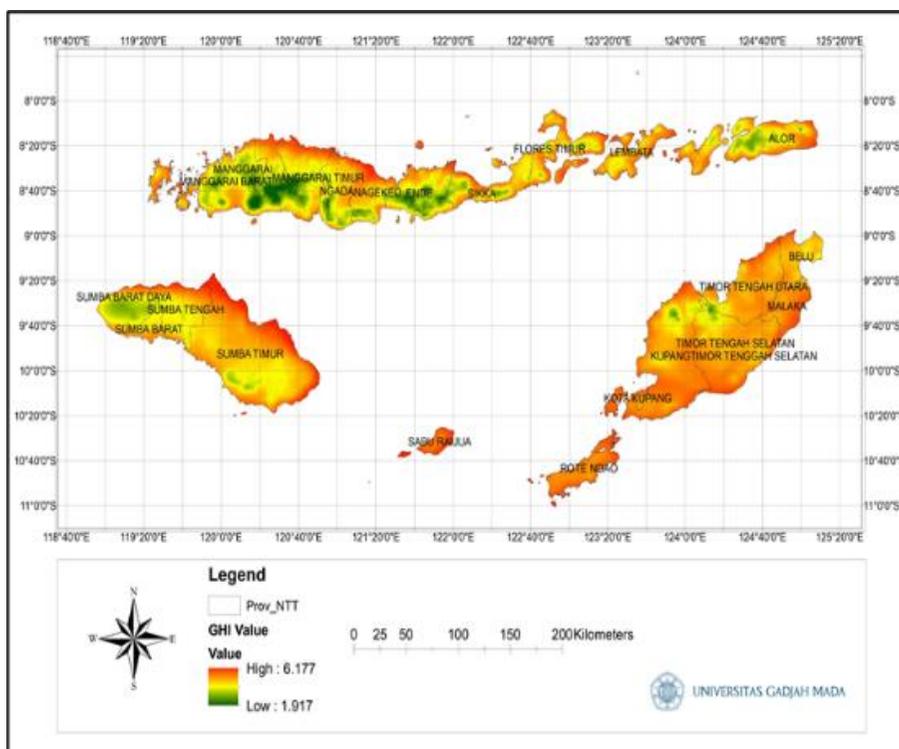
terlalu kecil. Lebih lanjut melihat infrastruktur yang terbatas untuk kasus Indonesia, mengembangkan transmisi dan distribusi hidrogen atau memperkuat jaringan regional adalah sebuah dilema. Untuk skala kecil hingga menengah, produksi dan penyimpanan terintegrasi di tempat yang terintegrasi dapat menjadi solusi. Ketika skala sistem energi menjadi lebih besar, maka jaringan listrik yang lebih kuat menjadi penting guna menyeimbangkan pasokan dan permintaan energi antar wilayah. Akhirnya, sumber daya dan modal untuk membangun sistem energi terbarukan yang berkelanjutan secara ekonomi dan sosial tidak terbatas dan perlu digunakan secara efisien, terutama pada situasi pandemi saat ini.

### 7.3. Studi Kasus

#### 7.3.1. Nusa Tenggara Timur

##### 7.3.1.1. Potensi Surya

Indonesia memiliki beberapa daerah dengan potensi sumber energi surya (menerima energi radiasi per m<sup>2</sup> sangat tinggi, seperti Nusa Tenggara Timur yang memiliki intensitas rata-rata GHI 5,15 kWh/m<sup>2</sup>. Peta distribusi potensi surya ditunjukkan pada Gambar 7-8

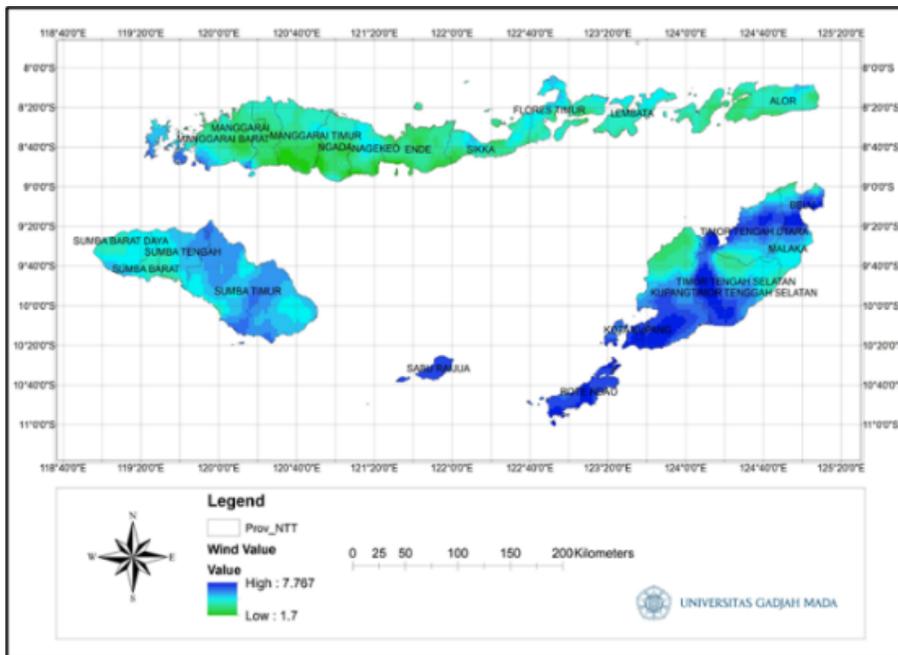


Gambar 7-8 Peta distribusi Intensitas GHI (kWh/m<sup>2</sup>) di Nusa Tenggara Timur



7.3.1.2. Potensi Angin

Kajian dan pengukuran potensi energi angin telah dilakukan, baik oleh lembaga pemerintah non departemen (LAPAN, BMKG), pemerintah daerah dan lembaga/perusahaan asing. Berdasarkan pengukuran diketahui bahwa Nusa Tenggara Timur memiliki nilai kecepatan angin rata-rata 4,62 m/s. Sedangkan nilai WV (*Wind Velocity*) digunakan untuk menghitung potensi wilayah yang mengacu pada wilayah yang memiliki *cut off* lebih dari 5 m/s sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7-9



Gambar 7-9 Distribusi Intensitas Kecepatan Angin (m/s) di Nusa Tenggara Timur

7.3.1.3. Potensi Panas Bumi

Data panas bumi merujuk kepada Laporan Tahunan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2017 (Vol. 1 dan 2) yang menyatakan bahwa Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki potensi panas bumi sebesar 1201 MWe di 28 lokasi dan Panas Bumi Wae Sano sebagai potensi panas bumi terbesar memiliki daya sebesar 106 MWe.

7.3.1.4. Potensi Sumber Daya Air

Sementara itu, Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki potensi air sebesar 516 MW yang tersebar di 22 kabupaten di Nusa Tenggara Timur. Kabupaten Manggarai Timur dengan energi 102 MW merupakan potensi tenaga air terbesar dibandingkan 21 kabupaten lainnya.



#### 7.3.1.5. Regulasi Terkait Rencana Umum Energi Daerah Nusa Tenggara Timur

Provinsi NTT memiliki Rencana Umum Daerah Energi yang dituangkan dalam Peraturan Daerah Provinsi NTT Nomor 10 Tahun 2019 tentang Pedoman Daerah Rencana Umum Daerah Energi Provinsi NTT Tahun 2019-2050 yang diundangkan pada tanggal 15 Oktober 2019. Rencana Umum Energi Daerah NTT memuat kebijakan, strategi, rencana, program, kelembagaan, dan kebijakan fiskal untuk pengembangan sektor energi periode 2015-2050.

Secara umum, pemodelan dalam Rencana Umum Energi Daerah-Provinsi NTT menunjukkan target bauran energi primer pada tahun 2025 dengan porsi: 24% dari Energi Baru dan Terbarukan, 12% dari batu bara, 10% dari gas bumi, dan sisanya 54% dari minyak bumi. Sedangkan untuk tahun 2050 ditargetkan tercapai bauran dengan porsi: 39% dari Energi Baru dan Terbarukan, 16% dari batu bara, 14% dari gas bumi, dan sisanya 31% masih menggunakan minyak bumi. Selanjutnya dari segi kuantitas, nilai absolut dari total penyediaan energi primer pada tahun 2025 untuk Provinsi NTT diperkirakan sebesar 2,6 MTOE yang menghasilkan pembangkitan listrik sebesar 1 GW dengan proporsi EBT sekitar 0,54 GW. Sedangkan untuk tahun 2050 diperkirakan sebesar 8,3 MTOE yang akan menghasilkan pembangkit sebesar 4,24 GW dengan porsi EBT sekitar 2,24 GW.

Target di atas berbeda dengan target bauran energi nasional dalam Pasal 9 huruf f Peraturan Pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional yang ditetapkan pada: Energi Baru dan Terbarukan minimal 23% pada tahun 2025 dan minimal 31% pada tahun 2050; minyak bumi kurang dari 25% pada tahun 2025 dan kurang dari 20% pada tahun 2050; batu bara paling sedikit 30% pada tahun 2025 dan paling sedikit 25% pada tahun 2050; dan gas bumi minimal 22% pada tahun 2025 dan minimal 24% pada tahun 2050. Sisi baiknya, provinsi NTT terlihat optimis dengan pengembangan EBT di wilayahnya yang dapat dinilai dari target porsi EBT, yang lebih besar dari target nasional. Selain itu, Energi Baru dan Terbarukan juga diarahkan untuk mendominasi pembangkitan listrik di NTT.

Rencana Umum Energi Daerah NTT memuat kebijakan dan strategi energi daerah, yang dirumuskan sebagai berikut:



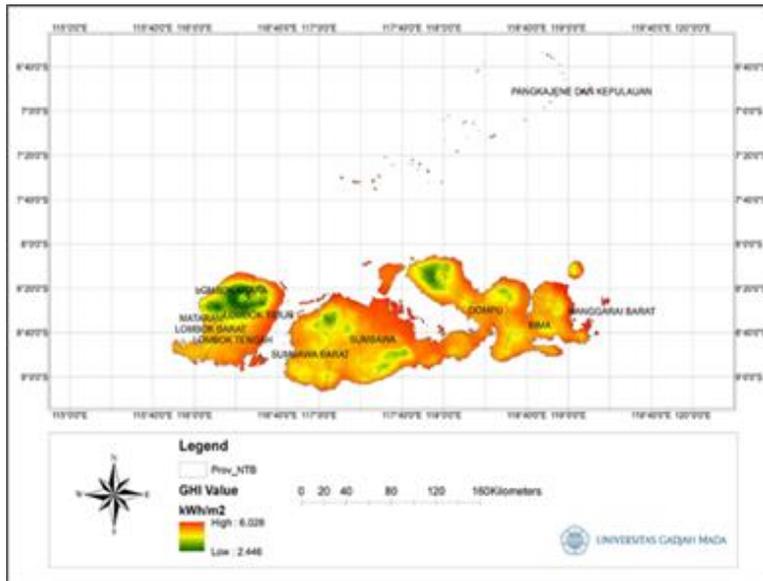
Tabel 7-9 Rencana Umum Energi Daerah NTT

No	Kebijakan	Strategi
<b>Kebijakan Utama</b>		
1	Ketersediaan Energi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Meningkatkan eksplorasi, potensi dan/atau cadangan ET yang terbukti</li> <li>▪ Meningkatkan produksi energi dan sumber daya energi dalam negeri dan/atau dari sumber eksternal</li> <li>▪ Meningkatkan keandalan sistem produksi, penyimpanan, dan distribusi energi</li> <li>▪ Menjamin daya dukung lingkungan dan daya tampung ketersediaan sumber energi</li> <li>▪ Prioritas lahan untuk energi jika ada konflik penggunaan lahan</li> <li>▪ Eksplorasi Energi Baru dan Terbarukan masih dengan cara yang baik dan benar</li> <li>▪ Pengembangan dan pemanfaatan teknologi dalam pemanfaatan energi, termasuk penyiapan cadangan energi, baik infrastruktur maupun sumber daya manusia;</li> <li>▪ Penelitian dan Pengembangan</li> </ul>
2	Prioritas pengembangan energi daerah	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Pengembangan Energi Panas Bumi</li> <li>➢ Pengembangan ET mikro/mini hidro</li> <li>➢ Pengembangan ET - surya</li> <li>➢ Pengembangan ET - angin</li> <li>➢ Pengembangan ET - bioenergi</li> <li>➢ Perkembangan ET - arus laut</li> </ul>
3	Pemanfaatan Sumber Daya Energi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengembangan ET panas bumi untuk mendukung pembangunan <i>smelter</i> dan infrastruktur lainnya</li> <li>▪ Pengembangan mikro/mini Energi Baru dan Terbarukan untuk pedesaan</li> <li>▪ Pengembangan ET - surya untuk penyediaan energi bagi masyarakat pedesaan, fasilitas umum, serta pusat kelautan dan perikanan yang terintegrasi</li> <li>▪ Pengembangan energi terbarukan angin untuk suplai energi di wilayah pesisir dan pedesaan</li> <li>▪ Mengembangkan bioenergi ET untuk listrik rumah tangga</li> <li>▪ Pengembangan arus laut RE untuk industri dan listrik pedesaan</li> </ul>
<b>Kebijakan Pendukung</b>		
1	Konservasi dan diversifikasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konservasi sumber daya energi dilakukan dengan pendekatan lintas sektor, setidaknya melalui penyesuaian tata ruang provinsi dan daya dukung lingkungan.</li> <li>• Konservasi energi dan pengelolaan sumber daya energi yang efisien</li> <li>• Konservasi energi di sektor industri dilakukan dengan mempertimbangkan daya saing</li> <li>• Pemerintah daerah menetapkan pedoman dan melaksanakan kebijakan konservasi energi, khususnya di bidang penghematan energi</li> <li>• Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya wajib melakukan diversifikasi energi untuk meningkatkan konservasi sumber daya energi dan ketahanan energi daerah</li> </ul>



### 7.3.2. Nusa Tenggara Barat

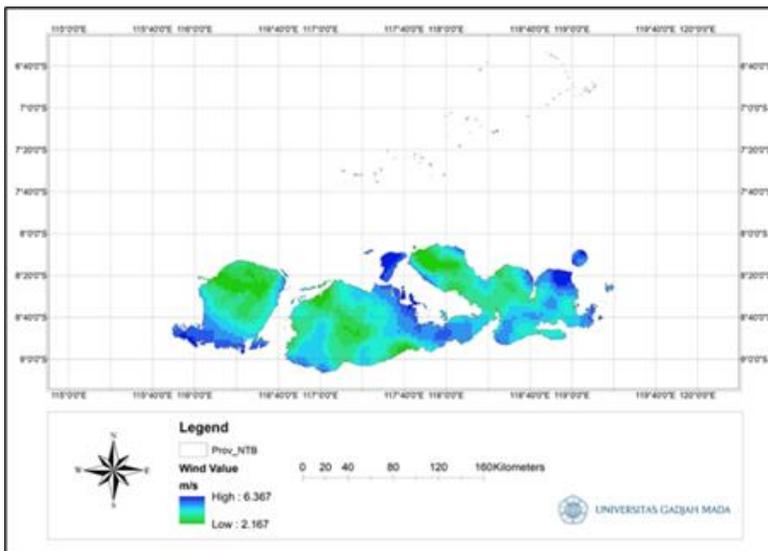
#### 7.3.2.1. Potensi Surya



Gambar 7-10 Peta Distribusi Intensitas GHI (kWh/m<sup>2</sup>) di Nusa Tenggara Barat

Secara rinci, Indonesia memiliki beberapa daerah dengan potensi sumber energi surya yang menerima energi radiasi per m<sup>2</sup> sangat tinggi, seperti Nusa Tenggara Barat memiliki intensitas rata-rata GHI 4,92 kWh/m<sup>2</sup>. Sebaran potensi energi matahari terlihat pada Gambar 7-10.

#### 7.3.2.2. Potensi Angin



Gambar 7-11 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) di Nusa Tenggara Barat



Kajian dan pengukuran potensi energi angin telah dilakukan, baik oleh lembaga pemerintah non departemen (LAPAN, BMKG), pemerintah daerah dan lembaga/perusahaan asing. Berdasarkan pengukuran diketahui bahwa Nusa Tenggara Barat memiliki nilai kecepatan angin rata-rata 4,74 m/s. Sedangkan nilai WV (*Wind Velocity*) digunakan untuk menghitung potensi wilayah yang mengacu pada wilayah yang memiliki *cut off* lebih dari 5 m/s sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7-11.

#### 7.3.2.3. Potensi Panas Bumi

Data panas bumi merujuk kepada Laporan Tahunan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2017 (Vol. 1 dan 2) yang menyatakan bahwa Provinsi Nusa Tenggara Barat memiliki potensi panas bumi sebesar 175 MWe yang terdiri dari 3 lokasi panas bumi yaitu energi Panas Bumi Sembalun sebesar 100 MWe; Energi panas bumi Marongge sebesar 6 MWe; dan Panas Bumi Huu - energi Daha sebesar 69 MWe.

#### 7.3.2.4. Potensi Sumber Daya Air

Provinsi Nusa Tenggara Barat memiliki potensi air sebesar 240 MW yang tersebar di 10 kabupaten. Kabupaten Sumbawa memiliki potensi tenaga air yang paling besar dibandingkan dengan kabupaten lainnya, yaitu sebesar 73 MW.

#### 7.3.2.5. Regulasi terkait Rencana Umum Energi Daerah Nusa Tenggara Barat

Provinsi NTB memiliki Rencana Umum Energi Daerah yang dituangkan dalam Peraturan Daerah Provinsi NTB Nomor 3 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi yang diundangkan pada tanggal 9 Mei 2019. Nilai strategis Rencana Umum Energi Daerah terletak pada posisinya sebagai pedoman dalam memberikan arahan pengelolaan energi di Daerah sampai dengan periode tahun 2050. Rencana Umum berfungsi sebagai:

1. Referensi dalam penyusunan dokumen perencanaan pembangunan daerah
2. Referensi dalam penyusunan RUKD dan RUPTL
3. Referensi dalam penyusunan APBD
4. Pedoman Penyusunan Renstra Provinsi dan Kabupaten/Kota
5. Pedoman bagi Pemda untuk mengoordinasikan perencanaan energi lintas sektor
6. Pedoman partisipasi masyarakat dalam pelaksanaan pembangunan energi di daerah

Pemerintah Daerah NTB menetapkan bahwa pemanfaatan ET diprioritaskan di daerah tertinggal, terpencil, dan pedesaan. Hal ini dilakukan dengan misi untuk mendorong pemanfaatan ET dan terbentuknya Desa Mandiri Energi (DME). RUED-P NTB berencana mengembangkan listrik pedesaan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi 27,33% rumah tangga yang saat ini belum teraliri



listrik. Pengembangan kelistrikan *off-grid* dipilih sebagai solusi, dengan fokus pengembangan PLTMH dan PLTB skala kecil serta sistem kelistrikan rumah tangga perorangan yang menggunakan *Solar Home System* (SHS). Lebih lanjut, Pemerintah Daerah NTB secara umum menargetkan kontribusi Energi Baru dan Terbarukan mencapai 35% pada tahun 2025 dan 50% pada tahun 2050 dari target bauran energi daerah untuk pemanfaatan di sektor pembangkit listrik. Kegiatan yang ditetapkan untuk mencapai tujuan pembangunan Energi Baru dan Terbarukan di atas antara lain:

1. Penyediaan lahan untuk pembangunan instalasi Energi Baru dan Terbarukan sesuai dengan RT/RW
2. Penyusunan pedoman pemberian subsidi energi oleh Pemerintah Daerah yang anggarannya dialokasikan dalam APBD
3. Penganggaran untuk pembangunan infrastruktur Energi Baru dan Terbarukan secara berkelanjutan untuk desa-desa yang tidak akan dialiri listrik dalam jangka panjang
4. Melibatkan lembaga pembiayaan infrastruktur nasional untuk membiayai proyek pengembangan Energi Baru dan Terbarukan
5. Mengembangkan sistem pembangkit listrik kecil berbasis Energi Baru dan Terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik di daerah yang tidak tercakup oleh perluasan jaringan.

Pemerintah Daerah NTB berperan dalam mendukung pengembangan ET dengan mengalokasikan anggaran untuk program dan kegiatan yang seluruhnya bersumber dari APBD sebagai berikut:

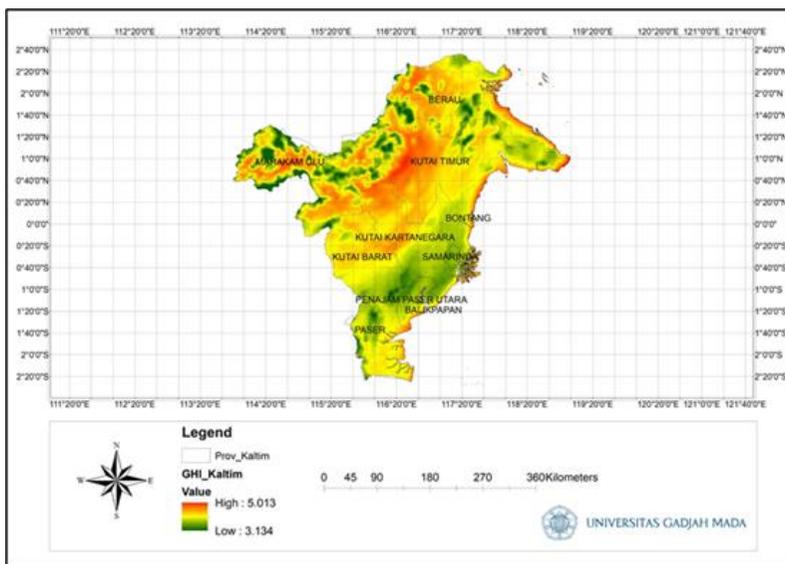
Tabel 7-10 Rencana Umum Energi Daerah NTB

Program	No.	Kegiatan	Lokasi
Perumusan kebijakan penggunaan energi surya	1	Perumusan kebijakan mengenai kewajiban untuk menggunakan energi surya <i>on-grid</i> di atap ( <i>rooftop</i> ) untuk gedung perkantoran pemerintah pusat dan daerah	Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Lombok Barat, Kota Mataram, Kabupaten Lombok Tengah, Kabupaten Lombok Timur, Kabupaten Sumbawa Barat, Kabupaten Sumbawa, Kabupaten Dompu, Kota Bima dan Kabupaten Bima
	2	Perumusan kebijakan mengenai kewajiban pemanfaatan energi surya dari PLTS <i>on-grid rooftop</i> untuk rumah mewah, hotel, apartemen, melalui penerbitan Izin Mendirikan Bangunan (IMB)	Kabupaten Sumbawa
	3	Perumusan kebijakan pengembangan Desa Energi Hijau yang Mendukung Pembangunan Samota (Teluk Saleh-Pulau Moyo-Gunung Tambora)	Kabupaten Sumbawa
	4	Perumusan kebijakan mengenai penyediaan lahan untuk keperluan pengembangan energi baru dan terbarukan oleh Pemerintah Kabupaten/Kota (sekitar 10.000 Ha pada tahun 2025 dan sekitar 25.000 Ha pada tahun 2050)	Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Lombok Barat, Kota Mataram, Kabupaten Lombok Tengah, Kabupaten Lombok Timur, Kabupaten Sumbawa Barat, Kabupaten Sumbawa, Kabupaten Dompu, Kota Bima dan Kabupaten Bima



## 7.3.3. Kalimantan Timur

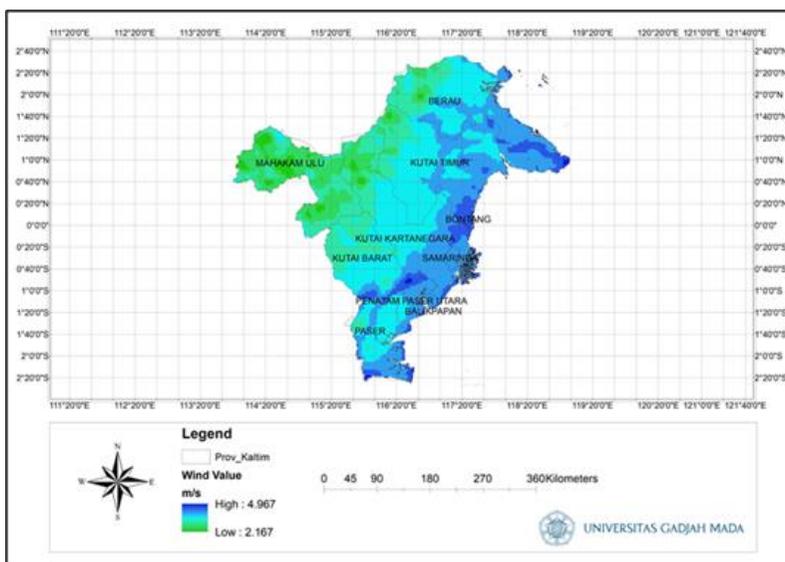
### 7.3.3.1. Potensi Surya



Gambar 7-12 Peta Distribusi Intensitas GHI ( $\text{kWh/m}^2$ )

Indonesia memiliki beberapa daerah dengan potensi sumber energi surya yang menerima energi radiasi per  $\text{m}^2$  sangat tinggi, seperti Kalimantan Timur, yang memiliki intensitas GHI rata-rata  $4,5 \text{ kWh/m}^2$  sebagaimana terlihat pada Gambar 7-12

### 7.3.3.2. Potensi Angin



Gambar 7-13 Distribusi Kecepatan Angin (m/s) di Kalimantan Timur



Kajian dan pengukuran potensi energi angin telah dilakukan, baik oleh lembaga pemerintah non departemen (LAPAN, BMKG), pemerintah daerah dan lembaga/perusahaan asing. Berdasarkan pengukuran diketahui bahwa Kalimantan Timur memiliki nilai kecepatan angin rata-rata 3,78 m/s. Sedangkan nilai WV (*Wind Velocity*) digunakan untuk menghitung potensi wilayah yang mengacu pada wilayah yang memiliki *cut off* lebih dari 5 m/s sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7-13.

#### 7.3.3.3. Potensi Panas Bumi

Provinsi Kalimantan Timur memiliki potensi panas bumi sebesar 17 MWe yang terdiri dari 2 lokasi panas bumi yaitu energi Panas Bumi Sungai Batuq sebesar 7 MWe; dan energi panas bumi Dondang sebesar 10 MWe merujuk kepada Laporan Tahunan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2017 (Vol. 1 dan 2).

#### 7.3.3.4. Potensi Sumber Daya Air

Provinsi Kaltim memiliki potensi air sebesar 9529 MW yang terakumulasi dari 10 kabupaten di Kaltim. Kabupaten Mahakam Ulu terpilih sebagai potensi tenaga air terbesar dibandingkan dengan 9 kecamatan lainnya, yaitu sebesar 6187 MW.

#### 7.3.3.5. Regulasi Terkait Rencana Umum Energi Daerah Kalimantan Timur

Provinsi Kalimantan Timur (Kaltim) memiliki RUED yang dituangkan dalam Peraturan Daerah Provinsi Kaltim Nomor 8 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Energi Daerah yang diundangkan pada tanggal 6 November 2019. Rencana Umum Energi Daerah ini bersifat mengikat untuk jangka waktu sampai dengan tahun 2050 dan memiliki nilai strategis sebagai dokumen yang:

1. menjadi acuan dalam penyusunan dokumen perencanaan pembangunan daerah
2. menjadi acuan dalam penyusunan RUKD dan RUPTL
3. menjadi acuan dalam penyusunan APBD
4. menjadi pedoman bagi Perangkat Daerah untuk menyusun Renstra dan koordinasi perencanaan energi lintas sektor
5. menjadi pedoman bagi masyarakat untuk berpartisipasi dalam pelaksanaan pembangunan di bidang energi

Keberpihakan dalam pengembangan ET secara tegas telah diatur dalam Pasal 5 ayat (4) yang memberikan kewajiban kepada Pemerintah Daerah untuk meningkatkan penyediaan ET. Namun, prioritas diarahkan ke daerah tertinggal, terpencil dan pedesaan. Hal ini masih dapat dikelola dan diarahkan untuk meningkatkan pangsa ET karena Pasal 8 ayat (2) telah menegaskan bahwa program Rencana Umum Energi Daerah diprioritaskan untuk meningkatkan peran Energi

Baru dan Terbarukan dalam bauran energi yang ditargetkan sebesar 12,39% tahun 2025. dan 28,72% pada tahun 2050.

Sumber ET yang digunakan di Provinsi Kalimantan Timur sampai saat ini berasal dari sinar matahari, air, limbah cair pabrik kelapa sawit dan limbah ternak sapi. Namun pemanfaatannya masih terbatas untuk penyediaan listrik skala rumah tangga dan desa, terutama di wilayah pemukiman yang belum terjangkau oleh jaringan distribusi listrik PLN. Kawasan ini juga mengelola minyak sawit (CPO) yang dicampur dengan bahan bakar minyak. Perlu upaya terpadu dan kemauan politik pemerintah daerah untuk meningkatkan porsi EBT dan mengembangkan pemanfaatannya dalam lingkup yang lebih luas. Terdapat 9 strategi yang dipilih dan ditetapkan dalam RUED-P Kaltim untuk meningkatkan penggunaan EBT, yaitu sebagai berikut:

1. Meningkatkan eksplorasi potensi Energi Baru dan EBT, dengan program peningkatan kualitas data potensi Energi Baru dan Terbarukan.
2. Meningkatkan pemanfaatan energi surya dengan program pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
3. Meningkatkan pemanfaatan sampah kota, dengan program pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah.
4. Meningkatkan Pemanfaatan Biogas, dengan program pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dan pengembangan biogas sebagai pengganti mini/LPG untuk sektor rumah tangga.
5. Meningkatkan penggunaan energi angin, dengan program pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Angin.
6. Meningkatkan Pemanfaatan Biomassa, dengan program pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa.
7. Meningkatkan energi air skala kecil, dengan program pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Air mini ataupun mikro/Minihidro.
8. Meningkatkan penggunaan *Biofuel* (Bahan Bakar Nabati/BBN), dengan program pemanfaatan BBN.
9. Meningkatkan penggunaan bahan bakar gas metana batu bara, dengan program pemanfaatan bahan bakar gas metana batu bara.

Lampiran Rencana Umum Energi Daerah Kalimantan Timur menguraikan strategi - strategi di atas dalam tabel di bawah ini:



Tabel 7-11 Rencana Umum Energi Daerah Kalimantan Timur

No.	Strategi	No.	Kegiatan	Pembiayaan
1	Peningkatan eksplorasi potensi energi baru dan terbarukan	1	Inventarisasi dan pemetaan potensi energi air, biomassa, bioenergi, energi surya, energi angin di Provinsi Kalimantan Timur	APBN, APBD
		2	Studi mengenai opsi penggunaan energi baru di Provinsi Kalimantan Timur	APBD, APBN
2	Meningkatkan pemanfaatan energi matahari	1	Sosialisasi pemanfaatan energi surya <i>on-grid</i> di atap untuk gedung pemerintahan, fasilitas umum, rumah mewah, hotel, dan apartemen.	APBD
		2	Sosialisasi penggunaan energi surya <i>on-grid</i> di atap untuk rumah mewah, hotel, dan apartemen.	APBD
		3	Pembangunan PLTS <i>on-grid</i> di atap untuk Gedung Pemerintah, fasilitas umum, rumah mewah, hotel, apartemen	APBN, APBD, Private
		4	Pembangunan PLTS <i>on grid</i> dengan target total kapasitas minimal 19 MW pada tahun 2025 dan 175 MW pada tahun 2050 di lokasi yang berdekatan dengan gardu induk yang dibangun oleh PLN (Persero).	APLN, APBN, APBD, Loan
		5	Pembangunan <i>Solar Home System</i> (SHS) dan PLTS Komunal/Terpusat, <i>off grid</i> dengan total kapasitas minimal 1 MW pada tahun 2025 dan 25 MW pada tahun 2050 untuk daerah terpencil yang belum terjangkau layanan PLN dan pulau-pulau kecil.	APBN, APBD, Dana CSR
3	Meningkatkan pemanfaatan sampah kota	1	Pembangunan PLTSa dengan target total kapasitas minimal 1 MW pada 2025 dan 50 MW pada 2050	APBN, APBD, pinjaman
4	Meningkatkan pemanfaatan energi angin	1	Pembangunan PLTBa dengan target di daerah yang memiliki potensi tenaga angin	APBD, APBN, pinjaman
5	Meningkatkan pemanfaatan biogas	1	Pembangunan PLTBg dengan target di daerah yang memiliki potensi biogas di sektor perkebunan	APBD, APBN, pinjaman
		2	Pengembangan biogas untuk skala rumah tangga minimal 1200 unit sampai tahun 2025 dan 2.262 unit sampai tahun 2050.	APBD, APBN, Dana CSR
6	Meningkatkan pemanfaatan energi biomassa	1	Pembangunan PLTBm dengan target total kapasitas minimal 216 MW pada tahun 2025 dan 350 MW pada tahun 2050.	APBD, APBN, pinjaman
7	Meningkatkan pemanfaatan energi air skala kecil	1	Pembangunan PLTMH/PLTM <i>on-grid</i> dengan target total kapasitas minimal 3,5 MW pada 2025 dan 70 MW pada 2050	APBN, Swasta
		2	Pembangunan PLTMH/PLTM <i>off grid</i> dengan total kapasitas minimal 1,5 MW sampai tahun 2025 dan 55 MW sampai tahun 2050 untuk daerah terpencil yang belum terjangkau layanan PLN	APBD, APBN, Swasta, Dana CSR
8	Meningkatkan penggunaan BBN	1	Perumusan kebijakan pemerintah terkait penggunaan bahan bakar nabati di sektor transportasi darat (mobil, bus dan truk) dan transportasi laut termasuk kapal nelayan	APBN
		2	Sosialisasi kebijakan Pemerintah terkait penggunaan BBN di sektor transportasi darat (mobil, bus dan truk) dan transportasi laut termasuk kapal nelayan	APBN, APBD
9	Pemanfaatan bahan bakar gas metana batu bara	1	Diversifikasi pemanfaatan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), menggunakan gas metana batu bara.	Swasta



## 8. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Peran sentral Pemerintah Daerah merupakan salah satu isu penting dalam upaya pemanfaatan sumber daya daerah untuk mencapai target transisi menuju ET. Terdapat beberapa faktor yang mendorong urgensi tersebut, antara lain: 1) ketimpangan akses energi yang memerlukan solusi infrastruktur dan institusional jangka panjang, 2) sumber-sumber ET daerah yang bersifat terdistribusi, sehingga memerlukan teknologi dan tata kelola yang berbeda dengan sumber energi fosil, 3) tren nilai keekonomian ET dan teknologi penyimpanan energi yang semakin baik dari waktu ke waktu, dipadu dengan skala implementasi yang fleksibel. Untuk dapat melaksanakan perannya secara efektif dalam ekosistem ET diperlukan model-model bisnis alternatif yang memberi ruang lebih bagi pemerintah daerah. Dalam upaya menjembatani gap tersebut PSE-UGM telah melakukan kajian interdisipliner yang komprehensif baik dari sisi teknik, ekonomi dan hukum.

Indonesia memiliki sumber daya ET yang memadai dengan potensi tenaga air sebesar 26.321 MW, panas bumi 1.125 MWe, bayu sebesar 3.850 GW, dan surya 122 GW. Selain itu, Indonesia juga memiliki potensi *biomass* yang cocok dikembangkan di wilayah-wilayah tertentu. Pemilihan teknologi ET pada suatu daerah perlu memperhatikan keadaan potensi, topografi, infrastruktur, keekonomian dan kompleksitas sistem yang sesuai. Bergantung pada kapasitasnya, pembangkit ET dapat diintegrasikan baik pada jaringan transmisi, distribusi, maupun melalui skema *off-grid* (mandiri). Kendala utama integrasi akan ditemui ketika sumber-sumber ET intermiten dilakukan dalam skala yang masif. Hal tersebut dikarenakan kemampuan jaringan listrik nasional yang terbatas dalam menyerap listrik ET yang fluktuatif. Oleh karenanya, pengenalan karakter daerah serta tersebut serta kesiapan *grid* nasional menjadi prioritas utama dalam kesuksesan integrasi ET.

Transisi menuju ET memberikan potensi manfaat ekonomi, baik *tangible* maupun *intangibile*, yang jauh lebih besar dibanding investasi yang harus dikeluarkan. Manfaat tersebut tidak hanya dapat dirasakan ketika target-target ET telah tercapai, namun juga saat masa transisi. Aktivitas ekonomi baru dapat muncul dan menciptakan nilai tambah baik dalam nasional maupun lokal daerah. Dukungan terhadap pengembangan ET telah dilakukan oleh pemerintah dengan memberikan berbagai insentif dan fasilitas. Seperti misalnya *tax-holiday* dan keringanan maupun pembebasan bea masuk untuk komponen-komponen yang



mendukung industri ET. Semua itu ditujukan untuk mendukung proses pembangunan yang berkelanjutan.

Kemampuan dan batasan Pemerintah Daerah dalam pengelolaan ET dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya: konsep desentralisasi dalam regulasi ET, kewenangan pengelolaan, dan keleluasaan dalam pengembangan regulasi ET daerah. Berdasarkan analisis dari sisi regulasi, peran pemerintah daerah dalam percepatan transisi energi ialah membuat PERDA untuk pendirian BUMD maupun penyertaan modal pembangkit ET, membuat peraturan daerah yang membuka peluang kerja sama, dan menyusun insentif pengurangan pajak/retribusi daerah. Dalam regulasi yang tertuang pada UU RPJMN 2005-2025 juga diamanatkan pemanfaatan pembangkit hibrida yang termasuk dalam teknologi pembangkit ET. Amanat pemanfaatan teknologi hibrida ET juga diperkuat dengan adanya Perpres No. 61 Tahun 2011 tentang RAN-GRK.

Kolaborasi antar pemangku kepentingan merupakan salah satu kunci keberhasilan dalam transisi ET di level daerah. Kolaborasi ini hanya dapat berjalan sukses apabila seluruh elemen baik pemangku kepentingan utama (pemerintah pusat, pemerintah daerah, IPP, BUMD, institusi keuangan), sekunder (institusi legislatif, lembaga pendidikan, LSM), dan tersier (organisasi keagamaan, lembaga adat, komunitas lokal). Sinergi antara sektor publik dan swasta di tingkat daerah juga diperlukan untuk membentuk ekosistem ET yang tangguh dan berswadaya. Selain kolaborasi antar lembaga, diperlukan pula koordinasi yang kuat dalam ranah internal institusi. Seperti misalnya Pemerintah Pusat dalam ranahnya perlu menyelaraskan agenda antar Kementerian. Dengan peran aktif seluruh pemangku kepentingan maka beban transisi energi tidak tertumpu pada satu entitas saja, sehingga memperkecil potensi terjadi *institutional bottleneck*.

Berbagai aspek diperlukan dalam pemilihan model bisnis ET di suatu daerah sehingga ekosistem yang terbentuk dapat berswadaya, berkelanjutan, dan optimum dalam memanfaatkan SDA maupun SDM daerah. Terdapat 4 alternatif model bisnis yang dikembangkan pada kajian ini untuk meningkatkan peran Pemerintah Daerah.

1. Model *on-grid*, yaitu ketika pembangkit terkoneksi langsung dengan jaringan listrik nasional.
2. Model *off-grid* yang diimplementasikan ketika pembangunan jaringan listrik nasional tidak mencapai nilai keekonomian.
3. Model bisnis jasa yang berfokus pada layanan pendukung pembangkit, seperti misalnya, perencanaan, manajemen, pemeliharaan pembangkit.



4. Model bisnis VPP yang dapat dilakukan ketika pembangkit-pembangkit yang terdistribusi dapat diintegrasikan untuk meningkatkan performa dan efisiensi.

Pada tiap model bisnis tersebut diperlukan kolaborasi antara IPP dan entitas-entitas daerah sehingga dapat terjadi *transfer of knowledge*. Masyarakat dan entitas lokal juga turut berperan dalam aktivitas ET sesuai dengan ketrampilan dan pengetahuan yang dimiliki. Selain itu, teknologi penyimpanan hidrogen juga dapat diimplementasikan sebagai pendukung untuk mengatasi intermitensi yang timbul. Dengan demikian diharapkan dapat tercipta ekosistem ET yang kuat di tingkat daerah.

Tinjauan terhadap tiga provinsi (NTT, NTB, dan Kalimantan Timur) menunjukkan potensi implementasi yang baik terhadap model alternatif yang dikembangkan. Ketiga provinsi tersebut memiliki potensi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan lokal. NTB memiliki fokus pada pengembangan industri manufaktur yang mana membutuhkan energi yang besar. NTT memiliki prioritas pengembangan ET di daerah terpencil dan pedesaan. Sementara itu, Kalimantan Timur perlu melakukan transisi dari industri energi berbasis pertambangan menuju ET yang lebih berkelanjutan. Model alternatif yang ada dapat dikembangkan secara lebih spesifik sesuai dengan kebutuhan daerah.

Penguatan peran Pemerintah Daerah dalam ekosistem ET memerlukan upaya-upaya multidimensional. Dari kajian yang telah dilakukan terdapat poin-poin umum yang dapat menjadi rekomendasi:

1. Pemilihan peran dan model bisnis ataupun ekosistem ET hendaknya disesuaikan dengan karakter SDA, SDM, dan infrastruktur daerah.
2. Perlunya penyesuaian target-target nasional yang tercantum dalam RUEN dengan kemampuan tiap daerah yang tercantum dalam RUED sehingga dapat terjadi upaya pemenuhan target ET yang lebih harmonis dan terarah bagi tiap-tiap daerah.
3. Perlunya koordinasi antar daerah dalam pengembangan ET, terutama bagi sumber-sumber ET yang mencakup beberapa daerah dalam pengembangan dan operasionalnya.
4. Pelibatan *stakeholders* lokal dalam pengembangan dan pengelolaan ekosistem ET, baik itu BUMD, BUMDes, maupun entitas lain.
5. Penegasan peran dan wewenang Pemerintah Daerah dalam pengembangan dan pengelolaan sumber daya ET lokal.



6. Pengembangan ET yang disertai dengan pengembangan ekosistem industri dan sektor pendukung sehingga dapat memaksimalkan *multiplier effect* pada ekonomi lokal.
7. Penerapan teknologi penyimpanan energi alternatif untuk dapat mengantisipasi adaptasi ET intermiten secara masif sehingga meningkatkan kemampuan serapan jaringan listrik Nasional.
8. Implementasi di ET daerah agar tidak hanya terfokus pada daerah terpencil namun juga daerah perkotaan dengan pertimbangan kesiapan infrastruktur dan kemampuan ekonomi yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Humas EBTKE, "Maksimalkan Energi Bersih: ESDM Konversi Pembangkit Listrik Fosil Ke EBT," *Dirjen EBTKE*, Jan. 31, 2020.
- [2] Kementerian ESDM: Dirjen Ketenagalistrikan, "Statistik Ketenagalistrikan 2019," Jakarta, 2020.
- [3] PSE UGM, "Fiscal Incentives to Support Renewable Energy Investment in Indonesia: The Search for Suitable Instrument," Yogyakarta: Tidak Dipublikasikan, 2018.
- [4] PT. PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2019-2028," Jakarta, 2019.
- [5] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. 2011.
- [6] Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia, *UU No. 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2016.
- [7] N. Marispastin, E. Rachmawaty, Y. Suryanti, H. Styawan, M. Farid, and N. Iskandar, *Implementation Strategy of NDC (Nationally Determined Contribution)*. Jakarta, 2017.
- [8] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional*. 2017.
- [9] Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, "Laporan Kajian Penelaahan Neraca Energi Nasional 2019," Jakarta, 2019.
- [10] PT. PLN (Persero), *Mewujudkan Papua Terang 2020*. Jakarta, 2020.
- [11] PSE UGM, "Penyusunan Roadmap EBT Indonesia," Yogyakarta, 2020.
- [12] E. F. M. Abreu, P. Canhoto, V. Prior, and R. Melicio, "Solar resource assessment through long-term statistical analysis and typical data generation with different time resolutions using GHI measurements," *Renewable Energy*, vol. 127, pp. 398-411, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.068>.



- [13] N. Reinecke, P. Spiller, and D. Ungerman, "The talent factor in purchasing," 2007.
- [14] S. Xu, X. Zhang, L. Feng, and W. Yang, "Disruption risks in supply chain management: a literature review based on bibliometric analysis," *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 11. Taylor and Francis Ltd., pp. 3508–3526, Jun. 02, 2020. doi: 10.1080/00207543.2020.1717011.
- [15] K. S. Balkhair and K. U. Rahman, "Sustainable and economical small-scale and low-head hydropower generation: A promising alternative potential solution for energy generation at local and regional scale," *Applied Energy*, vol. 188, pp. 378–391, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.012>.
- [16] R. Syahputra and I. Soesanti, "Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 472–490, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.015>.
- [17] M. A. Vaziri Rad, A. Toopshekan, P. Rahdan, A. Kasaeian, and O. Mahian, "A comprehensive study of techno-economic and environmental features of different solar tracking systems for residential photovoltaic installations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 129, p. 109923, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109923>.
- [18] Pusat Kajian LKFT Universitas Gadjah Mada, "Final Report of Maluku-Papua Masterplan," 2020.
- [19] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali (Java-Bali System Grid Code)," 2007.
- [20] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sumatera (Sumatera System Grid Code)," 2008.
- [21] Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia, *UU No. 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2016.
- [22] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional*. 2014.
- [23] Sarjiya *et al.*, "Wind and Solar Power Plant Modelling and Its Impact to the Jawa-Bali Power Grid," *Asia Pasific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, vol. 2018, Oct. 2018.



- [24] Tumiran, L. M. Putranto, Sarjiya, and E. Y. Pramono, "Maximum penetration determination of variable renewable energy generation: A case in Java-Bali power systems," *Renewable Energy*, vol. 163, pp. 561-570, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.048>.
- [25] Direksi PLN, "Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan ke Sistem Distribusi PLN," 2014.
- [26] L. M. Putranto, "Determination of PV Hosting Capacity in Rural Distribution Network: A Study Case for Bantul Area," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 9, pp. 1116-1124, 2019.
- [27] S. X. Chen, H. B. Gooi, and M. Q. Wang, "Sizing of Energy Storage for Microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 142-151, 2012, doi: [10.1109/TSG.2011.2160745](https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2160745).
- [28] S. Kamalinia and M. Shahidehpour, "Generation expansion planning in wind-thermal power systems," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 4, no. 8, 2010, doi: [10.1049/iet-gtd.2009.0695](https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2009.0695).
- [29] X. Yan, D. Abbes, B. Francois, and H. Bevrani, "Day-ahead optimal operational and reserve power dispatching in a PV-based urban microgrid," in *2016 18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe)*, 2016, pp. 1-10. doi: [10.1109/EPE.2016.7695614](https://doi.org/10.1109/EPE.2016.7695614).
- [30] H. O. R. Howlader, H. Matayoshi, and T. Senjyu, "Distributed generation incorporated with the thermal generation for optimum operation of a smart grid considering forecast error," *Energy Conversion and Management*, vol. 96, pp. 303-314, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.087>.
- [31] P. Li, R. Dargaville, F. Liu, J. Xia, and Y.-D. Song, "Data-Based Statistical Property Analyzing and Storage Sizing for Hybrid Renewable Energy Systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 11, pp. 6996-7008, 2015, doi: [10.1109/TIE.2015.2438052](https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2438052).
- [32] A. Navaeefard, S. M. M. Tafreshi, M. Barzegari, and A. J. Shahrood, "Optimal sizing of distributed energy resources in microgrid considering wind energy uncertainty with respect to reliability," in *2010 IEEE International Energy Conference*, 2010, pp. 820-825. doi: [10.1109/ENERGYCON.2010.5771795](https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2010.5771795).
- [33] G. Bekele and G. Tadesse, "Feasibility study of small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia," *Applied Energy*, vol. 97, pp. 5-15, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.059>.
- [34] J. I. Pérez-Díaz and J. Jiménez, "Contribution of a pumped-storage hydropower plant to reduce the scheduling costs of an isolated power system



- with high wind power penetration," *Energy*, vol. 109, pp. 92–104, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.014>.
- [35] J. Kabouris and G. C. Contaxis, "Optimum expansion planning of an unconventional generation system operating in parallel with a large scale network," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 6, no. 3, pp. 394–400, 1991, doi: 10.1109/60.84312.
- [36] M. N. Naghshineh and M. Mahdavian, "An Optimization method for participation of a wind solar-hydro pumped on daily ahead motion," *Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur*, vol. 17, no. 7, pp. 118–124, 2017.
- [37] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy, "Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 360–370, 2010, doi: 10.1109/TPWRS.2009.2030276.
- [38] Energy Sector Management Assistance Program, "Studies for Grid Connection of VRE Generations Plants," Washington DC, 2019.
- [39] P. Jain and P. Wijayatunga, "Grid Integration Best Practices for Emerging Wind Markets," Manila, 2016.
- [40] IRENA, "Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics," Abu Dhabi, 2016.
- [41] National Academy of Engineering and National Research Council, *The Power of Renewables: Opportunities and Challenges for China and the United States*. Washington DC: The National Academic Press, 2010.
- [42] PT. Sarana Multi Infrastruktur (Persero), "Pembiayaan Energi Terbarukan di Indonesia," 2020.
- [43] K. M. Tan, T. S. Babu, V. K. Ramachandramurthy, P. Kasinathan, S. G. Solanki, and S. K. Raveendran, "Empowering smart grid: A comprehensive review of energy storage technology and application with renewable energy integration," *Journal of Energy Storage*, vol. 39. Elsevier Ltd, Jul. 01, 2021. doi: 10.1016/j.est.2021.102591.
- [44] "Indonesia - Countries & Regions - IEA."
- [45] Hannah Ritchie and Max Roser, "Forests and Deforestation," Institute of Physics Publishing, Published online at OurWorldInData.org, 2021. doi: 10.1088/1748-9326/AAF0E4.
- [46] BPPT, "BPPT Gandeng Toshiba, Padukan Baterai dan Fuel Cell untuk Pembangkit Listrik (II)."

- [47] G. Glenk and S. Reichelstein, "Economics of converting renewable power to hydrogen," *Nature Energy* 2019 4:3, vol. 4, no. 3, pp. 216–222, Feb. 2019, doi: 10.1038/s41560-019-0326-1.
- [48] B. Liu, S. Liu, S. Guo, and S. Zhang, "Economic study of a large-scale renewable hydrogen application utilizing surplus renewable energy and natural gas pipeline transportation in China," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 3, pp. 1385–1398, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2019.11.056.
- [49] M. Reuß, T. Grube, M. Robinius, P. Preuster, P. Wasserscheid, and D. Stolten, "Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply chain model," *Applied Energy*, vol. 200, pp. 290–302, Aug. 2017, doi: 10.1016/J.APENERGY.2017.05.050.
- [50] ESDM, "Pembangunan Jargas Indonesia Terbanyak Ada di Kota Prabumulih | Situs Ditjen Migas," Mar. 2019.
- [51] E. Catizzone, C. Freda, G. Braccio, F. Frusteri, and G. Bonura, "Dimethyl ether as circular hydrogen carrier: Catalytic aspects of hydrogenation/dehydrogenation steps," *Journal of Energy Chemistry*, vol. 58, pp. 55–77, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.JECHEM.2020.09.040.
- [52] M. Martín, "Optimal year-round production of DME from CO<sub>2</sub> and water using renewable energy," *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, vol. 13, pp. 105–113, Mar. 2016, doi: 10.1016/J.JCOU.2016.01.003.



**Center For Energy Studies  
Universitas Gadjah Mada.**

Sekip Blok K1-A Yogyakarta 55281.  
Tlp/Fax: +62 274 549429. Email: pse@ugm.ac.id.

ISBN 978-623-91932-2-5



9 786239 193225