



Energi Indonesia

Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik
dalam Mewujudkan Kemandirian Energi



Dean Corio • Ritnawati • Muhammad 'Atiq
Muhammad Ihsan Mukrim • Yanti • Muh. Setiawan Sukardin
Ahmad Thamrin Dahri • Muh. Rais • Nita Suleman
Haerul Ahmadi • Mursalim • Rosnita Rauf

Energi Indonesia

Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik
dalam Mewujudkan Kemandirian Energi



UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Tentang diperhaluskannya Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi

Pendataan Perhalusan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 adalah sebagai berikut:

- penggunaan tujuan selain Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait untuk kepentingan pemenuhan akses yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi akses;
- Penggunaan Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait hanya untuk keperluan penelitian ilmu pengetahuan;
- Penggunaan Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, keolah-olahan dan Program yang tidak dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; atau
- penggunaan untuk keperluan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan yang menggunakan suatu Ciptaan tersebut untuk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyanyi.

Sanksi Pidana Pasal 113

- Setiap Orang yang dengan sengaja hak tersebut tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah);
- Setiap Orang yang dengan sengaja hak tersebut tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah);

Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi

Dean Corio, Ritnawati, Muhammad 'Atiq, Muhammad Ihsan Mukrim
Yanti, Muh. Setiawan Sukardin, Ahmad Thamrin Dahri, Muh. Rais
Nita Suleman, Haerul Ahmadi, Mursalim, Rosnita Rauf



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2023

Penulis:

Dean Corio, Ritnawati, Muhammad 'Atiq
Muhammad Ihsan Mukrim, Yanti, Muh. Setiawan Sukardin
Ahmad Thamrin Dahri, Muh. Rais
Nita Suleman, Haerul Ahmadi, Mursalim, Rosnita Rauf

Editor: Abdul Karim

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Dean Corio., dkk.

Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam
Mewujudkan Kemandirian Energi

Yayasan Kita Menulis, 2023

xiv; 158 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-996-2

Cetakan 1, Oktober 2023

- I. Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit
Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Assalamualaikum wr wb, salam Sejahtera untuk kita semua.

Energi adalah kebutuhan dasar yang mendukung hampir semua aspek kehidupan manusia, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga industri. Dalam konteks Indonesia, tantangan terkait energi menjadi semakin kompleks karena harus mempertimbangkan berbagai faktor, mulai dari keanekaragaman sumber daya alam, kebutuhan ekonomi, hingga dampak lingkungan. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk memiliki pemahaman yang mendalam dan komprehensif tentang dinamika kompleks ini.

Buku ini, "Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi", ditulis dengan tujuan untuk menyajikan informasi terintegrasi yang meliputi berbagai aspek terkait energi di Indonesia. Dengan mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu teknik, lingkungan, ekonomi buku ini mencoba memberikan gambaran yang komprehensif tentang tantangan dan peluang yang ada. Selain membahas masalah dan tantangan yang dihadapi, buku ini juga mengidentifikasi dan membahas langkah-langkah praktis dan strategis yang dapat diambil oleh pemerintah, industri, dan masyarakat untuk mencapai kemandirian energi yang berkelanjutan.

Melalui buku ini, diharapkan pembaca dapat meningkatkan pemahaman dan kesadaran mereka tentang urgensi transisi energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Selain itu, buku ini juga diharapkan dapat menjadi panduan bagi para pemangku kepentingan dalam merencanakan dan menerapkan strategi energi yang inklusif dan berkelanjutan, sehingga

Indonesia tidak hanya dapat mencapai kemandirian energi, tetapi juga berkontribusi pada upaya global untuk mitigasi perubahan iklim.

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung proses penulisan buku ini, termasuk tim penulis, editor, dan semua pihak yang telah memberikan masukan dan saran yang berharga. Terima kasih juga kepada Anda, pembaca, yang telah menunjukkan minat dan komitmen terhadap isu-isu energi yang penting ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi kita semua.

Salam hangat,

[Dean Corio]

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

Bab 1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	7
1.2.1 Memberikan Wawasan	7
1.2.2 Informasi Terintegrasi	8
1.2.3 Membangun Kesadaran	9
1.2.4 Menyajikan Solusi	9
1.2.5 Kontribusi Global	11

Bab 2 Profil Energi Di Indonesia

2.1 Pendahuluan	13
2.2 Bauran Energi Primer	15
2.3 Cadangan Dan Produksi Migas	16
2.4 Tantangan Indonesia Ke Depan	18

Bab 3 Masalah Energi Di Indonesia

3.1 Masalah Energi Di Indonesia: Tantangan Dan Perspektif	23
3.1.1 Ketergantungan Pada Energi Fosil	23
3.1.2 Infrastruktur Energi Yang Terbatas	24
3.1.3 Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik	25
3.1.4 Rasio Elektrifikasi Di Indonesia	28
3.2 Solusi Potensial Energi Di Indonesia	29
3.2.1 Energi Baru Terbarukan	29
3.2.2 Penghematan Energi	30

Bab 4 Potensi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air (Plta)

4.1 Historis Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Air	33
4.2 Potensi Energi Listrik Tenaga Air	37
4.3 Status Terkini Pemanfaatan	41

4.4 Tantangan Pemanfaatan Plta	43
--------------------------------------	----

Bab 5 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Di Indonesia

5.1 Pendahuluan.....	47
5.2 Energi Angin.....	48
5.2.1 Karakteristik Angin	48
5.2.2 Prinsip Energi Angin	49
5.3 Peluang Dan Tantangan	53

Bab 6 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Matahari (PLTS) Di Indonesia

6.1 Pendahuluan.....	55
6.2 Perkembangan Teknologi PLTS	56
6.2.1 Prinsip Kerja PLTS.....	56
6.2.2 Potovoltaik	59
6.3 Peluang Dan Tantangan Plts Di Indonesia	66
6.3.1 Peluang PLTS Di Indonesia.....	66
6.3.2 Tantangan PLTS Di Indonesia	68
6.4 Penerapan PLTS Di Indonesia	69
6.4.1 PLTS Atap.....	70
6.4.2 PLTS Irigasi	70
6.4.3 PLTS Waduk	71
6.4.4 PLTS Skala Besar.....	71

Bab 7 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Di Indonesia

7.1 Pendahuluan.....	73
7.1.1 Latar Belakang	73
7.1.2 Sistem Hidrothermal.....	75
7.1.3 Klasifikasi Sistem Hidrothermal	76
7.2 Pembangkit Listrik Energi Panas Bumi.....	78
7.2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.....	78
7.3 Pengelompokkan Jenis Energi Panas Bumi	79
7.3.1 Energi Panas Bumi Sistem Uap Basah	79
7.3.2 Energi Panas Bumi Sistem Air Panas	80
7.3.3 Energi Panas Bumi Rekahan Batuan Panas	81
7.4 Proses Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	86

Bab 8 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Di Indonesia

8.1 Sumber Biomassa Yang Melimpah	87
8.2 Pengurangan Sampah Organik.....	89
8.3 Peningkatan Ekonomi Lokal	90
8.4 Energi Terbarukan Dan Ramah Lingkungan	92
8.5 Kebijakan Dukungan.....	94

Bab 9 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Di Indonesia

9.1 Nuklir.....	95
9.1.1 Fisi Nuklir.....	96
9.1.2 Fusi Nuklir.....	97
9.2 Energi Nuklir Sebagai Sumber Energi.....	98
9.3 Energi Nuklir Sebagai Senjata Militer	99
9.4 Dampak Dari Penggunaan Energi Nuklir.....	100
9.4.1 Dampak Positif	100
9.4.2 Dampak Negatif.....	101
9.5 Energi Nuklir	101
9.6 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)	103
9.7 Potensi Energi Nuklir Di Indonesia	105

Bab 10 Kebijakan Dan Strategi Pengembangan Energi Di Indonesia

10.1 Kondisi Energi Di Indonesia	107
10.1.1 Konsumsi Energi	107
10.1.2 Produksi Dan Sumber Energi	109
10.2 Kebijakan Pemerintah Dalam Pengembangan Energi	111
10.2.1 Kebijakan Energi Nasional	111
10.2.2 Kebijakan Energi Terbarukan.....	113
10.3 Strategi Pengelolaan Energi Nasional.....	115

Bab 11 Investasi Dan Kemitraan Dalam Pengembangan Pembangkit Listrik

11.1 Pendahuluan.....	119
11.1.1 Latar Belakang	119
11.1.2 Proyeksi Kebutuhan Energi	121
11.2 Metodologi Analisis Dan Penyediaan Energi	122
11.2.1 Metodologi Analisis Kebutuhan Energi	122
11.2.2 Penyediaan Energi Saat Ini	122
11.3 Investasi Dan Kemitraan Dalam Pengembangan Pembangkit Listrik	123

11.3.1 Investasi Dan Kemitraan Kelistrikan Skema “ Build-Own-Operate” Atau (Boo)	123
11.3.2 Investasi Dan Kemitraan Kelistrikan Di China	125
11.3.3 Investasi Dan Kemitraan Kelistrikan Di Uni Eropa.....	126

Bab 12 Masa Depan Energi Indonesia

12.1 Pendahuluan.....	129
12.2 Penurunan Emisi Karbon.....	130
12.3 Rencana Aksi Mitigasi.....	131
12.4 Bauran Energi Yang Seimbang Dan Berkelanjutan	133
12.5 Transisi Sektor Ketenagalistrikan	134
12.6 Analisis Krisis Energi Dan Upaya Kemandirian Energi.....	136
12.7 Potensi Listrik Indonesia Dari Energi Terbarukan.....	137
12.8 Kemandirian Energi	138
12.9 Kondisi Perkembangan Energi Saat Ini.....	141
Daftar Pustaka	143
Biodata Penulis	153

Daftar Gambar

Gambar 3.1: Bau Ruen Energi Primer	24
Gambar 3.2: Konsumsi Energi Listrik Di Indonesia Setara	26
Gambar 3.3: Sektor Konsumsi Energi Listrik	26
Gambar 3.4: Konsumsi Listrik Per Kapita Di Indonesia	27
Gambar 3.5: Provinsi Dengan Rasio Elektrifikasi Terendah Tahun 2022	28
Gambar 3.5: Transformasi Energi Dan Bauran Energi 2050	30
Gambar 4.1: Peta Potensi Tenaga Air Indonesia.....	44
Gambar 5.1: Peta Potensi Penyebaran Angin Di Indonesia	50
Gambar 5.2: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	50
Gambar 6.1: Diagram Sistem Plts Off-Grid Tipe AC Coupling	57
Gambar 6.2: Diagram Sistem Plts Off-Grid Tipe DC Coupling.....	58
Gambar 6.3: Bagaimana Sel Surya Bekerja	60
Gambar 6.4: Penampang Modul Standar Dalam Silikon Kristal	60
Gambar 6.5: Maksimalisasi Energi Tahunan Matahari Yang Efektif Terhadap Modul PV	62
Gambar 6.7: PV Jenis Polikristal	63
Gambar 6.8: PV Jenis Monokristal	64
Gambar 6.9: PV Jenis Thin Film	64
Gambar 6.10: Intensitas Radiasi Matahari Indonesia	67
Gambar 6.11: PLTS Di Atas Jembatan Desa Yang Menyuplai Listrik Untuk Kebutuhan Pertanian	71
Gambar 6.12:PLTS 5 Megawatt Peak Sambelia Di Lombok	72
Gambar 7.1: Arus Sirkulasi Air	75
Gambar 7.2: Manifestasi Panas Bumi Di Permukaan	75
Gambar 7.3: Prinsip Kerja Pltu Dan PLTPB.....	78
Gambar 7.4: Prinsip Kerja Dari PLTP	79
Gambar 7.5: Prinsip Kerja PLTP (Sistim Uap Basah).....	80
Gambar 7.6: Prinsip Kerja PLTP (Sistim Air Panas).....	81
Gambar 7.7: Prinsip Kerja PLTP	81
Gambar 7.8: Sistem Uap Flash	82
Gambar 7.9: Sistem Separated Steam	82

Gambar 7.10: Sistem Uap Flash Tunggal	83
Gambar 7.11: Sistem Uap Flash Ganda	83
Gambar 7.12: Sistem Uap Flash Jamak	84
Gambar 7.13: Sistem Siklus Brine	84
Gambar 7.14: Sistem Gabungan Fossil-Panas Bumi	85
Gambar 7.15: Sistem Gabungan Hybrid Fossil.....	85
Gambar 9.1: Reaksi Pemisahan Inti (Reaksi Fisi)	96
Gambar 9.2: Reaksi D-T Fusion	97
Gambar 9.3: Salah Satu Desain Pltn	103
Gambar 10.1: Konsumsi Energi Indonesia	108
Gambar 10.2: Konsumsi Energi Nasional Dari Tiap Sektor.....	109
Gambar 10.3: Suplai Energi Indonesia	110
Gambar 10.4: Bauran Energi Primer Indonesia Tahun 2022.....	110
Gambar 10.5: Ilustrasi Proses Kebijakan Energi Nasional.....	112
Gambar 10.6: Ilustrasi Target Bauran Energi Nasional	113
Gambar 10.7: Dampak Penghematan Energi Final.....	117
Gambar 11.1: Skema Permodelan Energi (Model Leap)	121
Gambar 11.2: Metodologi Analisis Kebutuhan Energi	122
Gambar 11.3: Penyediaan Energi	123
Gambar 11.4: Penambahan Kapasitas Pembangkit Listrik Difasilitasi Oleh Komitmen Pembiayaan Antara 2006 Dan 2015 Oleh Dua DFI Tiongkok—CDB Dan Chexim—Dan Oleh Sepuluh Mdb Besar.....	126
Gambar 11.5: Perbandingan Langkah-Langkah Dukungan Dana Uni Eropa Yang Dipilih.....	127
Gambar 12.1: Emisi Global Co2	131
Gambar 12.2: Dua Pendekatan Yang Digunakan Untuk Menentukan Baseline	132
Gambar 12.3: Sasaran Bauran Energi Nasional	140

Daftar Tabel

Tabel. 4.1: Klasifikasi Plta Berdasar Skala.....	37
Tabel 4.2: Kebutuhan Energi Indonesia Setara Juta Ton Batubara (1979-1984).....	38
Tabel 4.3: Proyeksi Pengembangan Plta, Berdasarkan Data Tahun 1984 .	39
Tabel 4.4: Proyeksi Pengembangan Plta, Berdasarkan Data Tahun 1984 .	40
Tabel. 4.5: Pemanfaatan Energi Baru Dan Terbarukan Indonesia (2018-2022).....	42
Tabel 5.1: Pengukuran Kecepatan Angin Menggunakan Skala Beaufort .	48
Tabel 5.2: Data Tingkat Potensi Kecepatan Angin Di Indonesia	49
Tabel 7.1: Klasifikasi Sistem Panas Bumi.....	77
Tabel 12.1: Sasaran Penyediaan Dan Pemanfaatan Energi	139

Bab 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dalam konteks dinamika ekonomi global yang semakin dinamis, pertumbuhan ekonomi yang kian pesat telah menghasilkan sebuah pendorong kuat bagi peningkatan kebutuhan energi di seluruh penjuru dunia. Fenomena ini bukan sekadar sebuah peristiwa permukaan, melainkan suatu gejala yang memiliki dampak mendalam pada berbagai sektor kehidupan, mulai dari industri, transportasi, hingga infrastruktur masyarakat. Terkait dengan ini, fokus pada isu energi mengalami pergeseran signifikan dari sekadar topik teknis menjadi elemen kunci dalam agenda pembangunan nasional dan global. Indonesia, sebagai salah satu negara yang tidak hanya memainkan peran penting dalam ekonomi regional, tetapi juga sebagai produsen dan konsumen energi terkemuka di panggung internasional, menemukan dirinya berada di persimpangan tantangan dan peluang yang kompleks. Pertumbuhan ekonomi yang gemilang telah melibatkan negara ini dalam permainan global yang memerlukan pasokan energi yang terus bertambah. Namun, semakin meningkatnya kebutuhan ini tidak dapat diabaikan dari sudut pandang konsekuensi lingkungan dan sosial. Sementara di satu sisi negara ini diuntungkan oleh kekayaan alam yang melimpah, di sisi lain, upaya menjaga keseimbangan antara pasokan dan permintaan energi menjadi suatu kebutuhan mendesak. Tantangan yang dihadapi oleh Indonesia dalam menjaga

keseimbangan energi menjadi semakin rumit dengan adanya perubahan iklim global. Implikasi dari perubahan iklim, seperti kenaikan suhu rata-rata dan perubahan pola cuaca yang semakin sulit diprediksi, turut memberikan tekanan pada infrastruktur energi yang ada. Dalam konteks ini, Indonesia dituntut untuk merumuskan pendekatan yang tidak hanya mempertimbangkan aspek ekonomi, tetapi juga ketahanan lingkungan dan sosial dalam mengelola kebutuhan energi secara berkelanjutan.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan konsekuensi perubahan iklim, masyarakat global semakin memahami perlunya bertransisi dari sumber energi fosil yang terbatas dan berdampak besar terhadap lingkungan, menuju sumber energi berkelanjutan dan ramah lingkungan. Indonesia sebagai negara dengan beragam sumber daya energi alternatif, termasuk potensi energi terbarukan seperti matahari, angin, dan air, memiliki peluang besar untuk merancang model pembangkitan dan konsumsi energi yang lebih berkelanjutan (Corio, D, 2019). Dalam konteks inilah, pengelolaan energi di Indonesia tidak hanya menjadi tanggung jawab nasional, melainkan juga kontribusi nyata dalam mencapai tujuan global dalam memitigasi perubahan iklim. (Crespi dan Quarto, 2015). Dalam konteks ini, perubahan iklim global menjadi elemen krusial yang memberikan dampak nyata pada cara negara-negara memandang dan mengelola sumber daya energi. Indonesia juga tidak luput dari dampak perubahan iklim global yang semakin nyata, seperti kenaikan suhu rata-rata dan perubahan pola cuaca yang tidak terduga. Di samping itu, ketidakpastian pasokan energi fosil, yang merupakan sumber utama energi dunia, juga mengintensifkan kekhawatiran akan ketidakberlanjutan dari model konsumsi energi yang ada. (Metz B, 2015). Dalam menghadapi ketidakpastian yang semakin mencuat terkait pasokan dan dampak lingkungan dari sumber energi konvensional, Indonesia merespons dengan langkah-langkah yang semakin proaktif dalam mengeksplorasi serta memanfaatkan potensi sumber daya energi berkelanjutan dan ramah lingkungan. Pada akhirnya, upaya ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan negara terhadap energi fosil yang rentan terhadap fluktuasi harga global dan memiliki dampak negatif yang signifikan pada lingkungan. (Sungathapala, 2019)

Pandangan Indonesia terhadap energi secara perlahan namun pasti bertransformasi dari fokus utama pada energi fosil menuju pencarian alternatif yang lebih berkelanjutan. Dalam pencarian ini, negara ini menunjukkan pergeseran yang nyata, di mana kepentingan pertumbuhan ekonomi tidak lagi dianggap terpisah dari perlunya menjaga ekosistem dan kelestarian

lingkungan. Fokus ini mencerminkan semakin tingginya kesadaran terhadap perlunya "pertumbuhan hijau" yang dapat memberikan manfaat ekonomi tanpa mengorbankan keseimbangan lingkungan (Ivanovski dkk, 2021). Selain itu, dalam menghadapi kompleksitas dan fluktuasi pasar energi global, kesadaran akan pentingnya diversifikasi pasokan energi juga semakin menguat di Indonesia. Negara ini menyadari bahwa ketergantungan yang berlebihan pada satu jenis sumber energi dapat membawa risiko signifikan terhadap stabilitas pasokan, yang pada gilirannya dapat mengganggu berbagai sektor ekonomi. Melalui langkah-langkah strategis yang mengarah pada kombinasi berbagai sumber energi, baik konvensional maupun terbarukan, Indonesia berupaya untuk menciptakan sistem energi yang lebih tangguh dan tahan terhadap perubahan kondisi global yang tidak terduga (Wisuttisak, P., 2019). Dalam kesimpulannya, melalui perubahan paradigma ini, Indonesia berusaha untuk mengubah landscape energi domestiknya menjadi lebih berkelanjutan dan berwawasan masa depan. Langkah-langkah ini tidak hanya diarahkan untuk memenuhi kebutuhan energi saat ini, tetapi juga untuk mewariskan lingkungan yang lebih baik kepada generasi mendatang. Dengan demikian, eksplorasi dan pemanfaatan sumber daya energi yang berkelanjutan menjadi salah satu pijakan penting dalam upaya Indonesia menuju masa depan yang lebih baik. (Sugiawan & Managi, 2016)

Sebagai negara kepulauan yang dihiasi dengan keberagaman alam dan kekayaan sumber daya alam, Indonesia memiliki potensi yang luar biasa dalam mengembangkan berbagai jenis sumber energi terbarukan. Dengan lanskap geografis yang melibatkan pulau-pulau yang tersebar luas, negara ini memiliki kesempatan unik untuk memanfaatkan berbagai jenis energi terbarukan yang berlimpah. Sumber daya energi yang paling nyata dan berkelanjutan yang dimiliki Indonesia termasuk energi air, energi angin, energi matahari, energi panas bumi, dan potensi besar yang ada dalam sumber energi biomassa. Potensi-potensi ini tidak hanya memberikan alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan bagi kebutuhan energi nasional, tetapi juga menjadi pondasi penting dalam mengatasi tantangan pasokan energi di masa depan.

Namun, meskipun potensi sumber daya energi terbarukan di Indonesia begitu melimpah, langkah-langkah untuk mengembangkan dan memanfaatkannya tidak terlepas dari sejumlah tantangan yang kompleks. Tantangan teknis, misalnya, melibatkan pengembangan infrastruktur dan teknologi yang diperlukan untuk menghasilkan energi dari sumber-sumber tersebut dengan

efisiensi dan konsistensi yang tinggi. Selain itu, tantangan finansial juga menjadi pertimbangan serius, mengingat investasi awal yang mungkin diperlukan untuk membangun dan mengoperasikan infrastruktur energi terbarukan dapat menjadi besar. Di samping itu, aspek regulasi yang terkait dengan pengembangan sumber daya energi terbarukan juga memerlukan pemikiran matang, terutama dalam hal insentif dan perizinan yang mendukung pertumbuhan sektor energi terbarukan.

Karena itu, upaya untuk menggali potensi dan mengatasi kendala dari masing-masing sumber daya energi terbarukan tidak dapat diabaikan. Kajian mendalam yang mencakup analisis tentang efektivitas teknis, kelayakan finansial, dampak lingkungan, serta keterkaitan regulasi, menjadi sangat penting dalam merumuskan strategi energi yang berkelanjutan dan efisien untuk Indonesia. Dalam konteks ini, langkah-langkah pengembangan energi terbarukan perlu ditempuh secara terencana dan matang, dengan melibatkan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan institusi akademis. Dengan demikian, Indonesia dapat memanfaatkan potensi sumber daya alamnya secara berkelanjutan, sambil juga menghadapi tantangan yang ada dengan solusi inovatif dan berwawasan masa depan (Agency IRENA, I.R.E., 2018). Dalam menghadapi dinamika yang terus berubah di tingkat global dan faktor-faktor lokal yang memengaruhi keberlanjutan, kebutuhan akan langkah-langkah strategis untuk mencapai kemandirian energi di Indonesia menjadi semakin mendesak. Pentingnya mengamankan pasokan energi yang berkelanjutan dan beragam sejalan dengan tuntutan peningkatan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan upaya serius yang mencakup penelitian mendalam mengenai potensi berbagai sumber energi yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik. Penelitian tersebut diharapkan mampu membuka wawasan tentang berbagai aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan yang terkait dengan pengembangan sumber energi terbarukan. Dalam konteks ini, memahami potensi energi air, angin, matahari, panas bumi, dan biomassa menjadi landasan yang krusial dalam merumuskan strategi energi nasional. Dalam melakukan penelitian mendalam ini, keterlibatan berbagai pakar multidisiplin dari ilmu teknik, ilmu lingkungan, ekonomi, dan bidang terkait lainnya akan menjadi penting untuk menghasilkan pemahaman yang holistik dan akurat.

Namun, mengumpulkan pengetahuan semata tidak cukup. Langkah selanjutnya adalah menerjemahkan temuan dari penelitian tersebut ke dalam kebijakan-kebijakan yang konkret dan terintegrasi. Dalam hal ini, penyusunan

kebijakan yang mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan sosial sangatlah penting. Kebijakan ini harus mampu membimbing arah pembangunan infrastruktur energi di Indonesia, memfasilitasi investasi yang diperlukan, dan memberikan insentif bagi adopsi teknologi berkelanjutan. Langkah-langkah strategis ini juga perlu diiringi oleh kerjasama antara sektor pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat sipil. Kemitraan ini penting untuk memastikan bahwa kebijakan yang dihasilkan tidak hanya relevan secara teknis, tetapi juga berdaya dukung dan dapat mengatasi tantangan operasional serta sosial yang mungkin muncul. Dengan adanya kerangka kerja kolaboratif yang kuat, Indonesia dapat menghadapi transisi energi dengan cara yang berkelanjutan dan menghasilkan dampak positif jangka panjang bagi masyarakat dan lingkungan.

Dalam gambaran yang lebih luas, upaya mengembangkan energi berkelanjutan dan merumuskan langkah-langkah strategis ini tidak hanya berdampak pada peningkatan kapasitas energi nasional, tetapi juga merupakan langkah penting dalam berkontribusi pada agenda global untuk mengatasi perubahan iklim dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Dengan demikian, langkah-langkah ini bukan hanya untuk memenuhi kebutuhan energi Indonesia, tetapi juga merupakan bagian integral dari tanggung jawab yang lebih besar dalam mewujudkan masa depan berkelanjutan bagi planet kita.

Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) dan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) mencerminkan pentingnya aspek energi dalam konteks pembangunan dan penyediaan listrik di Indonesia. Pada tahun 2021, Indonesia memiliki pertumbuhan ekonomi sekitar 4,1% dan populasi yang terus bertambah, sehingga menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energi yang meningkat sebesar 6,3% per tahun. Dalam rangka mengatasi tantangan tersebut, pemerintah Indonesia merumuskan rencana dan strategi melalui RPJM dan RUPTL.

RPJM merupakan dokumen perencanaan yang menguraikan visi, misi, tujuan, dan sasaran pembangunan nasional dalam jangka menengah. Dalam RPJM 2020-2024, aspek energi memiliki peran sentral dalam memastikan pembangunan yang berkelanjutan, terutama dalam mengatasi tantangan ketahanan energi dan dampak lingkungan. Upaya untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil, memperluas pemanfaatan energi terbarukan yang pada tahun 2022 menyumbang sekitar 10% dari total kapasitas energi, dan meningkatkan efisiensi energi menjadi prioritas dalam RPJM (Ningsih dkk, 2023). Selain itu, dalam rangka mencapai target peningkatan akses listrik

dari 98,8% pada tahun 2020 menjadi 100% pada tahun 2024, serta pembangunan infrastruktur energi, RUPTL menjadi instrumen yang menggambarkan rencana penyediaan tenaga listrik secara terperinci, termasuk sumber energi yang akan digunakan, lokasi pembangkit listrik, dan jadwal pengembangan. Dengan mendasarkan tulisan tentang energi pada RPJM dan RUPTL, kita dapat menggali lebih dalam mengenai visi dan strategi pemerintah Indonesia dalam mengatasi tantangan energi dan membangun sistem energi yang berkelanjutan. Selain itu, dokumen-dokumen tersebut juga memberikan pandangan yang jelas tentang rencana pengembangan sumber energi terbarukan yang ditargetkan mencapai 23% pada tahun 2025, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan peningkatan efisiensi energi, yang semuanya berkontribusi pada tujuan global untuk mengatasi perubahan iklim dan mencapai keberlanjutan energi.

Dalam menghadapi era yang penuh dengan tantangan dan peluang dalam sektor energi, kehadiran buku "Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi" ini menjadi sangat penting, khususnya bagi Indonesia. Buku ini menawarkan sebuah pandangan yang komprehensif mengenai isu-isu energi di Indonesia, memaparkan profil energi saat ini, masalah dan tantangan yang ada, serta potensi dari berbagai jenis pembangkit listrik. Dalam konteks Indonesia yang memiliki kekayaan dan keanekaragaman sumber daya alam, pemahaman terhadap bagaimana mengelola dan memanfaatkan sumber daya ini secara efisien dan berkelanjutan menjadi sangat krusial. Buku ini juga mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu, mulai dari teknik, ekonomi, hingga kebijakan publik, sehingga menjadi referensi yang berharga tidak hanya bagi akademisi dan peneliti, tetapi juga bagi pembuat kebijakan, pemangku kepentingan industri, dan masyarakat umum (Mutiar, L, 2017)

Namun, manfaat dari buku ini tidak berhenti pada fungsi sebagai bahan ajar atau referensi semata. Buku ini juga membantu memicu diskusi dan refleksi kritis tentang tantangan yang dihadapi Indonesia, termasuk dampak dari masalah energi terhadap pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Selain itu, buku ini juga mempromosikan kesadaran tentang urgensi transisi menuju bentuk energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan mempertimbangkan aspek investasi, kemitraan, dan kebijakan yang tepat, buku ini memberikan panduan praktis tentang bagaimana Indonesia bisa tidak hanya mencapai kemandirian energi, tetapi juga berkontribusi pada agenda global seperti mitigasi perubahan iklim. Dengan demikian, "Energi

Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi" menjadi sumber informasi yang berharga dalam membantu Indonesia merencanakan dan menerapkan strategi energi yang inklusif dan berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penulisan

1.2.1 Memberikan Wawasan

Memberikan wawasan dalam konteks ini berarti memberikan informasi, analisis, dan interpretasi yang komprehensif dan mendalam tentang bagaimana faktor-faktor seperti ekonomi, kebutuhan energi, dan perubahan iklim saling berinteraksi dan memengaruhi satu sama lain, khususnya di Indonesia.

Berikut adalah beberapa komponennya:

1. **Ekonomi:** Mengkaji struktur ekonomi Indonesia, termasuk sektor-sektor yang paling berpengaruh seperti industri, pertanian, dan jasa. Bagaimana kebijakan ekonomi, pertumbuhan ekonomi, atau stagnasi ekonomi memengaruhi kebutuhan energi dan iklim. Misalnya, pertumbuhan industri bisa meningkatkan permintaan energi, yang jika dipenuhi melalui sumber-sumber energi fosil, akan meningkatkan emisi karbon.
2. **Kebutuhan Energi:** Meninjau sumber-sumber energi yang ada di Indonesia (seperti batu bara, minyak bumi, energi terbarukan), dan bagaimana pilihan sumber energi ini akan memengaruhi ekonomi (melalui pekerjaan, investasi) dan perubahan iklim (melalui emisi gas rumah kaca). Sehingga, transisi ke energi terbarukan bisa memerlukan investasi awal yang besar tetapi berpotensi mengurangi emisi di masa depan.
3. **Perubahan Iklim:** Mengerti dampak perubahan iklim terhadap ekonomi dan kebutuhan energi. Misalnya, perubahan pola cuaca bisa memengaruhi produktivitas pertanian, yang selanjutnya memengaruhi ekonomi. Atau, meningkatnya frekuensi bencana alam bisa memengaruhi infrastruktur energi.

4. **Interaksi Kompleks:** Ini adalah bagian yang paling krusial. Bagaimana perubahan di salah satu sektor bisa memengaruhi sektor lainnya dalam cara yang tidak selalu intuitif. Misalnya, kebijakan untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan bisa memengaruhi lapangan pekerjaan, investasi, dan dinamika ekonomi secara keseluruhan, sementara juga memengaruhi tingkat emisi dan perubahan iklim.
5. **Konteks Indonesia:** Faktor-faktor di atas harus dianalisis dalam konteks sosial, budaya, dan politik Indonesia. Misalnya, bagaimana preferensi masyarakat terhadap sumber energi tertentu atau bagaimana kebijakan pemerintah dapat memfasilitasi atau menghambat transisi ke energi yang lebih berkelanjutan.

Dengan memberikan wawasan yang mendalam tentang semua aspek ini, pembaca akan lebih memahami tantangan, peluang, dan trade-off yang ada, serta membuat keputusan yang lebih informasi dalam konteks ekonomi, energi, dan perubahan iklim di Indonesia.

1.2.2 Informasi Terintegrasi

Dalam konteks energi di Indonesia, informasi terintegrasi berfungsi sebagai sebuah jembatan yang menghubungkan berbagai disiplin ilmu teknik, lingkungan, dan ekonomi untuk memberikan pandangan yang holistik dan mendalam. Misalnya, saat mengevaluasi potensi penggunaan energi surya, tak cukup hanya mempertimbangkan aspek teknis seperti efisiensi panel surya atau biaya instalasi. Penting juga untuk menimbang dampak lingkungan, seperti pengaruh terhadap ekosistem lokal dan potensi pengurangan emisi karbon. Sementara itu, analisis ekonomi yang mencakup biaya operasional, ROI, dan implikasi kebijakan pemerintah akan memberikan konteks yang lebih luas tentang kelayakan finansial dari investasi energi surya. Dengan menggabungkan semua elemen ini dalam satu sumber informasi yang komprehensif, keputusan yang diambil oleh pemangku kepentingan baik itu pemerintah, sektor bisnis, atau individu akan lebih berdasar dan terinformasi, memungkinkan strategi energi yang lebih berkelanjutan dan efisien untuk Indonesia.

1.2.3 Membangun Kesadaran

Membangun kesadaran mengenai kebutuhan mendesak untuk beralih ke sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan adalah langkah penting dalam mencapai tujuan keberlanjutan, terutama di Indonesia yang menghadapi tantangan khusus seperti deforestasi, emisi karbon, dan polusi udara. Kesadaran ini tidak hanya penting bagi pemerintah dan perusahaan energi, tetapi juga bagi masyarakat umum, karena perubahan nyata seringkali bermula dari tingkat akar rumput. Pentingnya membangun kesadaran ini bisa dilihat dari beberapa aspek. Pertama, dari segi edukasi. Melalui pendidikan dan pelatihan, orang bisa memahami bagaimana konsumsi energi mereka memengaruhi lingkungan dan apa saja opsi yang lebih berkelanjutan yang bisa mereka pilih. Kedua, advokasi dan kampanye sosial. Menggunakan berbagai platform, termasuk media sosial dan acara publik, untuk mengentengahkan isu-isu seperti pemanasan global, kebutuhan akan energi terbarukan, dan efisiensi energi, bisa membuat masyarakat lebih terlibat dalam diskusi ini. Ketiga, kolaborasi antar sektor. Untuk mencapai perubahan skala besar, sektor publik dan swasta, bersama dengan komunitas akademisi dan LSM, perlu bekerja sama. Mereka bisa berbagi penelitian, inovasi, dan strategi implementasi yang bisa membantu transisi ke energi yang lebih berkelanjutan. Keempat, kebijakan publik dan insentif. Pemerintah memainkan peran yang sangat penting dalam menciptakan lingkungan yang kondusif untuk perubahan ini melalui kebijakan, regulasi, dan insentif fiskal. Kelima, partisipasi masyarakat. Dengan membekali masyarakat dengan pengetahuan dan alat yang mereka butuhkan untuk membuat keputusan yang lebih berkelanjutan, mereka bisa berkontribusi dalam transisi energi dari tingkat individu, yang jika digabungkan bisa berdampak signifikan.

Dalam konteks Indonesia, membangun kesadaran ini semakin mendesak, terutama karena negara ini masih sangat bergantung pada energi fosil, dan menghadapi tantangan ekologis yang signifikan. Meningkatkan kesadaran akan membantu mempercepat adopsi teknologi energi bersih dan strategi keberlanjutan yang akan mendatangkan manfaat jangka panjang untuk negara ini baik dari sisi ekonomi, lingkungan, maupun sosial.

1.2.4 Menyajikan Solusi

Menyajikan solusi adalah tentang merancang dan mengkomunikasikan tindakan praktis dan strategis yang bisa diambil oleh berbagai pemangku

kepentingan pemerintah, industri, dan masyarakat untuk mencapai tujuan yang lebih berkelanjutan, khususnya dalam konteks energi. Menyajikan solusi ini lebih dari sekadar mengidentifikasi masalah; ini adalah tentang menciptakan jalan keluar yang *feasible* dan memberikan panduan tentang bagaimana mencapai hasil yang diinginkan.

1. Pemerintah: Untuk pemerintah, solusi bisa berupa pembentukan kebijakan dan regulasi yang mendukung transisi ke energi bersih. Ini bisa termasuk insentif pajak untuk perusahaan energi terbarukan, peningkatan standar emisi untuk industri, atau pembangunan infrastruktur yang memfasilitasi penggunaan energi terbarukan seperti stasiun pengisian untuk kendaraan listrik.
2. Industri: Di sisi industri, solusi bisa meliputi adopsi teknologi bersih dan efisien, pengembangan model bisnis yang lebih berkelanjutan, dan investasi dalam penelitian dan pengembangan untuk teknologi energi baru. Misalnya, sebuah perusahaan migas bisa diversifikasi portofolionya dengan menambahkan investasi dalam energi matahari atau angin.
3. Masyarakat: Solusi untuk masyarakat bisa lebih fokus pada aksi individu atau komunitas, seperti mengadopsi gaya hidup yang lebih hemat energi atau mendukung inisiatif lokal yang berfokus pada keberlanjutan. Edukasi dan penyuluhan adalah kunci di sini; orang perlu tahu bagaimana caranya mereka bisa berkontribusi, baik itu melalui penggunaan energi yang lebih efisien di rumah atau mendukung bisnis dan produk yang berkelanjutan.
4. Kolaborasi Antar Sektor: Terakhir, penting untuk mempertimbangkan bagaimana berbagai sektor ini bisa bekerja bersama. Solusi terbaik seringkali memerlukan kolaborasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat. Misalnya, sebuah inisiatif pemerintah untuk mempromosikan energi bersih akan lebih efektif jika didukung oleh industri melalui investasi teknologi dan oleh masyarakat melalui adopsi dan advokasi.
5. Pendekatan Berbasis Data: Semua ini harus didasarkan pada data dan analisis yang kuat. Penelitian dan survei harus dilakukan untuk

memahami kebutuhan, potensi, dan hambatan dalam transisi energi, sehingga solusi yang diajukan benar-benar sesuai dan efektif.

Menyajikan solusi dalam bentuk ini yang komprehensif, terperinci, dan multidisiplin akan meningkatkan peluang sukses dari setiap upaya untuk menjadikan energi di Indonesia lebih berkelanjutan. Ini adalah tentang menciptakan rencana aksi yang bisa dipahami dan diimplementasikan oleh semua pihak yang terlibat, dengan tujuan akhir menciptakan sebuah sistem energi yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

1.2.5 Kontribusi Global

Kontribusi Global adalah konsep yang menekankan bagaimana tindakan-tindakan di Indonesia dalam sektor energi tidak hanya berdampak pada negeri ini sendiri tetapi juga memiliki implikasi global, terutama dalam konteks perubahan iklim dan keberlanjutan. Mengingat bahwa energi adalah salah satu sektor utama yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, tindakan yang diambil oleh Indonesia dalam transisi energi bisa sangat berpengaruh dalam usaha global untuk mitigasi perubahan iklim.

1. Pengembangan Energi Terbarukan: Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, dan hidro. Pemanfaatan sumber daya ini tidak hanya memenuhi kebutuhan energi domestik tetapi juga mengurangi ketergantungan pada energi fosil, yang adalah pendorong utama perubahan iklim.
2. Transfer Teknologi: Sebagai negara yang sedang berkembang dengan kekayaan sumber daya alam, Indonesia juga bisa berperan sebagai penerima maupun penyedia teknologi bersih. Melalui kolaborasi internasional, transfer teknologi bisa memfasilitasi implementasi solusi energi yang lebih berkelanjutan, baik di Indonesia maupun di negara-negara lain.
3. Partisipasi dalam Kerangka Internasional: Indonesia adalah anggota dari berbagai organisasi internasional dan signatari dari perjanjian-perjanjian internasional tentang perubahan iklim, seperti Perjanjian Paris. Kepatuhan terhadap komitmen-komitmen ini tidak hanya menunjukkan kepemimpinan global tetapi juga berkontribusi langsung terhadap upaya mitigasi perubahan iklim.

4. Pengurangan Deforestasi: Karena deforestasi juga merupakan sumber signifikan dari emisi karbon, upaya pengurangan deforestasi dan pengelolaan hutan yang berkelanjutan di Indonesia juga menjadi bentuk kontribusi global. Ini tidak hanya berdampak positif pada biodiversitas tetapi juga berfungsi sebagai sumur karbon yang menyerap CO₂ dari atmosfer.
5. Kolaborasi dan Diplomasi Energi: Di tingkat diplomatik, Indonesia bisa berperan sebagai mediator atau anggota aktif dalam diskusi global mengenai transisi energi dan mitigasi perubahan iklim. Misalnya, melalui forum seperti ASEAN atau G20, Indonesia bisa membawa masalah ini ke meja diskusi dan berkolaborasi dalam mencari solusi yang bersifat global.
6. Pendidikan dan Kapasitas Bangsa: Meningkatkan pengetahuan dan kapasitas bangsa dalam hal keberlanjutan dan mitigasi perubahan iklim juga menjadi kontribusi penting. Sebuah publik yang teredukasi akan lebih cenderung mendukung kebijakan progresif dan berkelanjutan, yang pada akhirnya akan berkontribusi ke tujuan global.

Dengan berfokus pada elemen-elemen ini, Indonesia tidak hanya akan memenuhi kebutuhan energi domestiknya dalam cara yang lebih berkelanjutan, tetapi juga akan memainkan peran penting dalam upaya global untuk memitigasi perubahan iklim dan mencapai keberlanjutan. Dengan demikian, buku ini akan berfungsi sebagai sumber informasi dan panduan yang berguna untuk pemerintah, peneliti, praktisi industri, dan masyarakat umum yang tertarik pada isu-isu energi dan pembangunan berkelanjutan.

Bab 2

Profil Energi Di Indonesia

2.1 Pendahuluan

Indonesia, dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan populasi, mengalami peningkatan konsumsi energi. Indonesia mempunyai banyak potensi baru di bidang energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga air mini, tenaga surya, biomassa, dan angin. Peningkatan kebutuhan energi ini mendorong pemerintah Indonesia melakukan upaya untuk mewujudkan berbagai potensi energi baru terbarukan dan berkomitmen untuk meningkatkan pangsa energi baru terbarukan menjadi 23% pada tahun 2028 dan setidaknya 31% pada tahun 2050. Dalam lingkungan yang sangat menjanjikan untuk investasi dalam energi terbarukan dan kemitraan teknologi

Kebijakan energi Indonesia saat ini mengikuti kebijakan energi internasional, khususnya dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, beralih ke energi baru dan terbarukan, dan mendorong perekonomian berbasis teknologi hijau. Komitmen Indonesia dalam mendukung kebijakan energi internasional antara lain dengan meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan, mengurangi bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan listrik pada transportasi, industri dan transportasi dalam negeri serta pemanfaatan penangkapan dan penyimpanan karbon. Energi merupakan faktor penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan (Khan et al., 2020).

Sumber energi global telah mengalami sejumlah perubahan, mulai dari penggunaan biomassa secara eksklusif, seperti kayu bakar, untuk memenuhi kebutuhan energi, hingga penggunaan sumber daya fosil seperti batubara, minyak, dan gas alam, yang diakibatkan oleh revolusi industri. 1900-an Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, mengganggu stabilitas iklim, dan meningkatkan suhu global dan permukaan laut (Pertamina, 2020). Banyak peneliti telah menunjukkan bahwa emisi CO₂ berkontribusi paling besar terhadap perubahan iklim antara tahun 1750 dan 2005 (Luo & Wu, 2016).

Visi pengelolaan energi global masa depan adalah mendorong pengurangan emisi, termasuk meningkatkan kapasitas dan penggunaan pembangkit listrik EBT, mengurangi penggunaan sumber energi fosil di segala sektor, dan penggunaan kendaraan listrik. Visi ini disebut transisi energi. Beberapa negara telah berkomitmen untuk mencapai emisi nol bersih, seperti Korea Selatan, Jepang, dan Uni Eropa pada tahun 2050 dan Tiongkok pada tahun 2060 (IEA, 2021).

Setiap tahunnya target energi baru terbarukan akan meningkat, mulai tahun 2025 dengan target sebesar 23% hingga tahun 2060 dengan target sebesar 66%. Energi terbarukan merupakan energi yang dapat dipanen secara alami, berkelanjutan dan berkelanjutan.

Untuk mencapai target 23% energi baru terbarukan pada tahun 2025, maka realisasi energi baru terbarukan setiap tahunnya harus sebesar 0,9%. Namun pada kenyataannya, energi baru terbarukan di Indonesia hanya tumbuh sebesar 0,55% per tahun, hal ini tentunya terkendala oleh beberapa faktor, yaitu sebaran potensi energi baru terbarukan di Indonesia, kemampuan jaringan listrik dalam menyerap listrik masih terbatas. Beberapa sumber energi baru terbarukan bersifat intermiten, sehingga pembangkit listrik harus memiliki ruang penyimpanan yang besar. Selain itu, kapasitas industri dalam negeri yang terbatas dalam hal teknologi dan ketidakstabilan pasar juga menghambat tujuan pertumbuhan sekunder. Sinergi dan kerjasama semua pihak diperlukan untuk mengembangkan sumber energi baru terbarukan agar dapat beroperasi secara optimal.

2.2 Bauran Energi Primer

Pasokan energi primer Indonesia masih didominasi oleh sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas, sedangkan pasokan energi baru terbarukan (EBT) masih rendah. Mengingat terbatasnya sumber energi fosil di Indonesia, maka perlu segera dilakukan optimalisasi pemanfaatan sumber daya EBT.

Pada saat yang sama, Indonesia memiliki banyak energi baru dan terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) mengatur dan mendorong pengurangan penggunaan energi fosil secara bertahap. Pada tahun 2025, proporsi EBT dalam struktur energi nasional harus mencapai minimal 23% pada tahun 2050, 31%. Pada tahun 2019, realisasi penggunaan EBT hanya mencapai 9,15% dan hanya 39,8% dari target tahun 2025.

Laju pemanfaatan EBT dalam struktur energi nasional masih rendah karena berbagai kendala, terutama jarak geografis antara lokasi sumber energi dengan lokasi kebutuhan energi, serta biaya investasi yang masih tinggi. Ada pula faktor lain yaitu ketidaksesuaian kebijakan energi dan perencanaan energi antara berbagai peraturan perundang-undangan yang ada.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ketergantungan yang terus menerus terhadap energi fosil menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa pencemaran dan perubahan. Iklim dan pemanasan global. Pemanfaatan EBT harus ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan energi nasional, terutama dengan mengurangi dampak gas rumah kaca. Pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil. Selain itu, pemerintah juga meminta UU Nomor 16 Tahun 2016 untuk meratifikasi Perjanjian Paris dan Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim.

Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi total emisi gas rumah kaca di semua sektor sebesar 29% (tanpa dukungan) dan 41% (dengan dukungan internasional). pada tahun 2030. Perkembangan ekonomi dan energi jangka panjang masih bersifat ketidakpastian, sehingga untuk menangkap dinamika tersebut, studi ini mengkaji struktur energi primer dalam beberapa skenario.

1. Pertama, perkiraan struktur energi disesuaikan dengan skenario Business as Usual (BaU). Skenario BaU merupakan skenario yang memberikan gambaran kondisi energi Indonesia di masa depan tanpa

- adanya perubahan mendasar pada kebijakan sektor energi, perusahaan dan penggunaannya.
2. Kedua, perkiraan struktur energi disesuaikan berdasarkan skenario kebijakan (CP) saat ini. Berbeda dengan skenario BaU, skenario CP memberikan gambaran mengenai kondisi energi Indonesia di masa depan ketika kebijakan RUEN diterapkan sepenuhnya. Energi fosil masih akan mendominasi pasokan energi primer Indonesia hingga tahun 2050, dengan peningkatan selama periode perkiraan sebesar 407 juta ton setara minyak (TOE) (BAU) dan 448 juta (CP). Meskipun nilai absolut energi fosil meningkat, namun porsi energi fosil terhadap total pasokan energi primer mengalami penurunan menjadi 88% (BAU) dan 69% (CP).

Porsi minyak bumi diperkirakan akan terus menurun namun perannya masih cukup tinggi hingga tahun 2050. Hal ini disebabkan ketergantungan terhadap konsumsi bahan bakar minyak khususnya pada sektor transportasi masih cukup tinggi. Pada saat yang sama, pasokan gas alam diperkirakan akan terus meningkat setiap tahunnya, meskipun porsinya akan sedikit menurun pada tahun 2030. Kedua skenario tersebut menunjukkan bahwa industri migas akan tetap menjadi sumber energi utama Indonesia di masa depan. Oleh karena itu, pemerintah memerlukan strategi untuk mengelola energi migas di Indonesia dengan baik.

2.3 Cadangan dan Produksi Migas

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak dan gas dunia dengan cadangan yang tersebar di sebagian besar wilayah. Cadangan minyak bumi Indonesia (cadangan terbukti dan cadangan terkira) pada tahun 2019 mencapai 3,8 miliar barel, dengan R/P 9 tahun. Pada saat yang sama, cadangan gas bumi berjumlah sekitar 77 TCF atau setara dengan 14 miliar barel setara minyak (BOE), dengan rasio R/P 22 tahun.

Kegiatan eksplorasi selama 20 tahun terakhir terutama menemukan cadangan gas alam dan hanya sedikit penemuan minyak. Hal ini terlihat jelas pada sejumlah proyek migas strategis nasional, sebagian besar adalah proyek gas

bumi PT Pertamina EP Cepu (PEPC) pada tahun 2001, Indonesia Deepwater Project (IDD) di pantai Selat Makassar, Kalimantan Timur oleh Chevron. Makassar Terbatas. . (CML) dan proyek lainnya Yang terbaru adalah proyek Tangguh Train-3 di Bintuni, Papua Barat, yang dilaksanakan oleh BP Berau LLC. Selama sepuluh tahun terakhir, tren produksi migas dalam negeri hampir setiap tahun mengalami penurunan. Pada tahun 2010 saja, produksi migas dalam negeri meningkat sebesar 154 juta barel per hari (MBPD) dibandingkan tahun sebelumnya. Berdasarkan data yang ada, rata-rata penurunan produksi migas sebesar 2% per tahun. Pada tahun 2019, output eksploitasi migas sebesar 2.024 MBPD, turun 120 MBPD dibandingkan tahun 2018. Proporsi output gas bumi lebih tinggi dibandingkan minyak, rata-rata 63%. total produksi minyak dan gas. Berdasarkan data tahun 2019, produksi gas bumi sebesar 7,235 juta standar kaki kubik per hari (MMCFD) atau 1.279 barel setara minyak per hari (BOEPD), sedangkan minyak sebesar 745 BPD.

Penurunan cadangan dan/atau produksi migas Indonesia yang paling nyata disebabkan oleh turunnya harga minyak dunia. Saat harga minyak dunia tidak turun tajam pada tahun 2015, rata-rata aktivitas pengeboran sumur pengembangan dan eksplorasi mencapai 1.000 sumur/tahun, namun setelah turunnya harga minyak dunia, rata-rata aktivitas pengeboran hanya mencapai 1.000 sumur/tahun. tahun. tahun. 300 sumur/tahun, terjadi penurunan sekitar 70%. Selain harga minyak, menurunnya penemuan cadangan dan produksi migas dalam negeri juga disebabkan oleh permasalahan kebijakan fiskal dan non-keuangan.

Kebutuhan BBM dan LPG dalam 5 tahun terakhir selalu meningkat. Rata-rata peningkatan konsumsi bahan bakar dan LPG setiap tahunnya adalah sebesar 3% dan 5%, dengan konsumsi pada tahun 2019 masing-masing sebesar 75 KL dan 7,8 ton. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, ada yang diproduksi di dalam negeri dan ada pula yang diimpor.

Dalam RUEN, pemerintah menargetkan penghapusan impor BBM pada tahun 2025. Upaya yang dilakukan antara lain dengan meningkatkan kapasitas pengilangan melalui pembangunan kilang baru dan rehabilitasi kilang yang sudah ada (Refinery Development Master Plan/RDMP), serta diversifikasi bahan bakar konversi ke bahan bakar lain. Pada tahun 2019, kapasitas penyulingan minyak Indonesia sebesar 1.139 MBPD, meliputi 6 unit pengolahan kilang Pertamina (RU II Dumai, RU III Plaju, RU IV Cilacap, RU V Balikpapan, RU VI Balongan dan RU VII Kasim), serta PT Trans Pacific. Kilang Petrokimia Indotama (PT TPPI) dan Kilang Cepu. Program RDMP

meliputi kilang di Balikpapan, Cilacap, Balongan, Dumai dan Plaju, sedangkan kilang baru yang akan segera beroperasi adalah Grass Root Refinery (GRR) di Tuban. Pengembangan ini akan meningkatkan kapasitas pengilangan dalam negeri menjadi 1,8 MBPD dan meningkatkan faktor pemanfaatan kilang dari 80% menjadi sekitar 90%.

Sementara untuk gas bumi, Indonesia masih surplus sebesar 2 miliar standar meter kubik per hari (BSFCD), setara dengan sekitar 33% total produksi negara. Pemanfaatan gas bumi dalam negeri terutama terkait dengan sektor pembangkit listrik dan industri, dengan tingkat pemanfaatan mencapai 80% menjadi 90%.

2.4 Tantangan Indonesia ke Depan

Permintaan BBM dan LPG dalam 5 tahun terakhir selalu meningkat. Rata-rata peningkatan konsumsi bahan bakar dan LPG setiap tahunnya adalah sebesar 3% dan 5%, dengan konsumsi pada tahun 2019 masing-masing sebesar 75 KL dan 7,8 ton. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, ada yang diproduksi di dalam negeri dan ada pula yang diimpor.

Sementara untuk gas bumi, Indonesia masih mengalami surplus sebesar 2 miliar standar meter kubik per hari (BSFCD), setara dengan sekitar 33% total output negara. Pemanfaatan gas bumi dalam negeri terutama untuk produksi listrik dan industri dengan proporsi 80%, sisanya digunakan sebagai bahan baku produksi pupuk, eksploitasi minyak bumi dan jaringan perkotaan dan gas alam (BBG). Pemanfaatan gas alam dalam negeri diperkirakan akan meningkat akibat peralihan dari batu bara ke gas, baik pada pembangkit listrik maupun sektor industri, sejalan dengan visi dan misi penurunan emisi global, jembatan dan kota permulaan.

Pengelolaan energi migas ke depan tentu tidak akan lepas dari berbagai tantangan, baik internal maupun eksternal. Seluruh tantangan yang ada saat ini bukanlah sebuah hambatan melainkan sebuah semangat baru untuk mencapai ketahanan migas nasional dan kemandirian energi dengan arah strategis dan kebijakan yang tepat. Berbagai tantangan ke depan antara lain adalah semakin menurunnya produksi migas dalam negeri akibat penurunan alamiah sumur-sumur tua dan rendahnya tingkat keberhasilan eksplorasi migas. Data migas tahun 2020 menunjukkan bahwa sumur-sumur dangkal atau pada kedalaman

kurang dari 1.000 m tempat sumur migas berada hampir habis. Oleh karena itu, minyak saat ini harus dieksploitasi pada kedalaman lebih dari 5.000 m di atas permukaan laut. Sembilan puluh ladang migas di Indonesia bagian barat telah dieksploitasi, menyisakan sumur-sumur tua yang kandungan airnya sama atau lebih tinggi dari minyak. Oleh karena itu, tren eksplorasi migas beralih ke wilayah timur Indonesia atau lepas pantai. Kondisi geologi yang sulit, biaya dan risiko yang lebih tinggi membuat eksplorasi menjadi kurang optimal. Sedangkan dari segi tingkat keberhasilan eksplorasi, kondisi geologi Indonesia hanya menghasilkan rata-rata tingkat keberhasilan kurang dari 50%. Rendahnya tingkat keberhasilan eksplorasi perlu didukung oleh kegiatan eksplorasi skala besar. Oleh karena itu, sektor hulu masih menjadi tantangan yang perlu mendapat perhatian lebih.

Tantangan selanjutnya adalah mengenai kebijakan fiskal. Dalam hal ini, pemerintah sebenarnya mempunyai kewenangan penuh untuk memutuskan kebijakan perpajakan seperti pemodelan dan pengelolaan kegiatan hulu migas, penetapan tarif retribusi dan pajak sumber daya alam, serta peraturan perpajakan. industri. ladang minyak. . dan sektor gas. Karena besarnya permintaan eksplorasi, diperlukan kebijakan yang tepat untuk menciptakan keseimbangan antara upaya peningkatan penerimaan pajak dan semangat investasi. Jika pemerintah melonggarkan kebijakan fiskal dengan harapan menarik investor baru, maka pendapatan negara akan menurun. Di sisi lain, jika pemerintah memperketat kebijakan fiskal yang akan meningkatkan pendapatan negara dalam jangka pendek, Indonesia mungkin tidak lagi menarik bagi investor minyak dan gas. Dalam jangka panjang, hal ini dapat memengaruhi keberlangsungan kegiatan eksploitasi migas. Indonesia memiliki sejarah minyak yang panjang sehingga infrastrukturnya cukup lengkap. Namun, permasalahan kedaulatan energi di wilayah perbatasan negara sering kali disebabkan oleh kurangnya akses terhadap infrastruktur, sehingga menyebabkan kelangkaan energi dan harga bahan bakar minyak yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan infrastruktur khususnya di daerah 3T (perbatasan, terpencil, sulit) yang belum terintegrasi perlu segera diselesaikan.

Kedepannya diharapkan tidak ada lagi perbedaan harga BBM antar daerah. Sementara itu, faktor perekonomian seperti inflasi dan nilai tukar rupee juga menjadi tantangan ke depan. Nilai tukar rupee terhadap dolar sangat berpengaruh karena sebagian besar transaksi migas dilakukan dalam dolar. Sebagai net importir minyak, kita tentu akan mengalami kerugian akibat

tingginya nilai tukar dan cadangan devisa yang digunakan untuk membayar impor minyak.

Sekalipun kebijakan energi di masa depan mengarah pada penggunaan energi terbarukan, proporsi bahan bakar fosil, khususnya minyak dan gas alam, akan tetap mendominasi. Hal ini terlihat jelas melalui prakiraan struktur energi primer Indonesia di masa depan. Pangsa minyak dan gas bumi pada tahun 2025 dan 2050 diperkirakan masing-masing sebesar 49% dan 39% dari total kebutuhan energi nasional berdasarkan skenario Business-as-usual atau 45% berdasarkan skenario politik.

Transisi energi yang dilakukan Indonesia saat ini merupakan upaya menjaga ketahanan energi dan mencapai ekonomi hijau di Indonesia. Transisi energi juga menunjukkan komitmen Indonesia untuk memperluas akses terhadap teknologi ramah lingkungan dan terjangkau untuk mendorong pemulihan ekonomi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Indonesia mempunyai potensi untuk memanfaatkan sumber daya EBET, seperti membangun kawasan industri hijau di Kalimantan Utara yang sumber energinya berasal dari Sungai Kayan. Potensi pembangkit listrik tenaga air di Sungai Kayan diperkirakan mencapai 11 hingga 13 gigawatt. Indonesia juga memiliki energi hijau lainnya berupa energi panas bumi. Potensi panas bumi Indonesia merupakan salah satu yang terbesar di dunia, dengan ratusan lokasi potensi yang tersebar di seluruh Indonesia. Menurut data Kementerian ESDM, potensi panas bumi Indonesia sekitar 23,4 gigawatt dengan kapasitas PLTP terpasang sebesar 2,3 gigawatt, sehingga Indonesia menempati urutan kedua setelah Amerika dalam pemanfaatan energi panas bumi sebagai energi listrik.

Energi panas bumi merupakan sumber energi baik yang tercipta dari magma yang terdapat di jantung bumi pada daerah vulkanik. Panas dan tekanan tinggi yang dilepaskan dari produksi kepala sumur dapat digunakan untuk memutar turbin uap di pembangkit listrik tenaga panas bumi atau langsung untuk mengeringkan produk pertanian. Energi panas bumi merupakan sumber energi yang bersih dan berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Energi panas bumi memainkan peran yang semakin penting dalam program dekarbonisasi yang mendukung energi bersih. Pemanfaatan energi panas bumi ini sejalan dengan salah satu prinsip Bali Accord yang disepakati pada masa presidensi G20 Indonesia pada tahun 2022, yaitu upaya diversifikasi sistem dan bauran energi, serta pengurangan emisi karbon untuk seluruh sumber energi.

Untuk membantu percepatan transisi energi negara, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 Tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik untuk Mendorong Indonesia mencapai target penurunan emisi pada tahun 2030. Selain itu, Indonesia memperkuat komitmennya untuk mencapai target tersebut. Target Kontribusi Nasional (NDC) tahun 2030 dengan target penurunan emisi mulai 23 Mei September 2022 adalah sebesar 31,89% (sebelumnya 29%) tanpa syarat dan 43,20% (sebelumnya 41%) bersyarat. Melalui berbagai program dan investasi pemerintah, Indonesia diharapkan mempunyai peluang untuk mencapai net zero emisi pada tahun 2060 atau lebih cepat, sejalan dengan Perjanjian Paris.

Peningkatan permintaan berbanding terbalik dengan penurunan cadangan dan produksi nasional. Sedangkan pada tahun 2019, cadangan minyak bumi (cadangan terbukti dan cadangan terkira) tercatat sebesar 3,8 miliar barel, dengan rasio cadangan terhadap produksi (R/P) sebesar 9 tahun. Pada saat yang sama, cadangan gas bumi berjumlah sekitar 77 TCF atau setara dengan 14 miliar barel setara minyak (BOE), dengan rasio R/P 22 tahun. Sementara itu, produksi migas dalam negeri selama 10 tahun terakhir mengalami penurunan rata-rata 2% per tahun. Pada tahun 2019, produksi gas bumi sebesar 7.235 MMCFD atau setara dengan 1.279 BOEPD, sedangkan produksi minyak sebesar 745 BPD.

Untuk memenuhi kebutuhan energi migas nasional, saat ini sebagian energi tersebut diproduksi di dalam negeri dan sebagian lagi diimpor. Permintaan terhadap produk minyak bumi seperti BBM dan LPG terus meningkat setiap tahunnya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, banyak upaya yang dilakukan, antara lain peningkatan kapasitas penyulingan minyak bumi melalui pembangunan kilang baru dan rehabilitasi kilang yang sudah ada (Development Master Plan Refinery/RDMP), serta diversifikasi bahan bakar ke jenis bahan bakar lain. Untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi migas di masa depan, banyak tantangan yang memerlukan kebijakan dan strategi yang tepat. Mulai dari cara mengatasi penurunan produksi dan rendahnya tingkat keberhasilan eksplorasi migas. Berikutnya adalah permasalahan infrastruktur migas yang belum sinkron sehingga menyebabkan perbedaan harga migas antar daerah. Serta faktor ekonomi antara lain inflasi dan nilai tukar rupiah.

Kementerian ESDM berencana membentuk 3 departemen baru dalam waktu dekat guna memaksimalkan tugas pokok dan fungsi Kementerian ESDM yang

selama ini belum optimal. Pembentukan tiga departemen baru ini diatur dalam Peraturan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Ketiga departemen tersebut adalah Departemen Umum Pengusahaan dan Penerimaan Batubara di bawah Departemen Umum Mineral dan Batubara, kedua Departemen Umum Perencanaan dan Pengembangan Infrastruktur Perminyakan di bawah Departemen Umum Perminyakan dan ketiga Departemen Umum Perencanaan dan Pengembangan. Infrastruktur Energi Baru, Energi Terbarukan, dan Hemat Energi.

Departemen Perencanaan dan Pengembangan Infrastruktur Perminyakan di bawah Departemen Umum Perminyakan dan Departemen Perencanaan dan Pengembangan Infrastruktur Energi Baru, Energi Terbarukan, dan Hemat Energi dibentuk oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk memaksimalkan pengembangan Optimize. infrastruktur energi di Indonesia yang sampai saat ini belum optimal pengoperasiannya. Diharapkan dengan terbentuknya kedua direktorat ini, pengembangan infrastruktur baru migas dan energi terbarukan dapat terlaksana. Dalam Peraturan Menteri Nomor 13 Tahun 2016, kedua departemen umum tersebut akan melaksanakan tugas pokok dan fungsinya dengan merumuskan dan melaksanakan kebijakan, menyusun norma, standar, prosedur dan kriteria, memberikan nasihat teknis dan pengawasan, penilaian dan pelaporan, serta pengawasan. Di bidang perencanaan, pengadaan, pelaksanaan dan pemantauan di bidang pembangunan infrastruktur perminyakan gas dan energi baru, energi terbarukan dan penghematan energi.

Pembangunan infrastruktur energi merupakan salah satu kegiatan prioritas Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk mengejar kecukupan infrastruktur guna mencapai kedaulatan dan kemandirian energi. Upaya Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tentunya tidak akan berhasil tanpa dukungan moral dan material dari semua pihak, terutama pemangku kepentingan ekonomi dan industri. Oleh karena itu, perlu adanya koordinasi yang aktif dan berkesinambungan antara Kementerian ESDM. Energi, sumber daya mineral, dan wirausahawan, sehingga dapat tercapai sinergi yang baik untuk mencapai tujuan program pemerintah.

Bab 3

Masalah Energi di Indonesia

3.1 Masalah Energi di Indonesia: Tantangan dan Perspektif

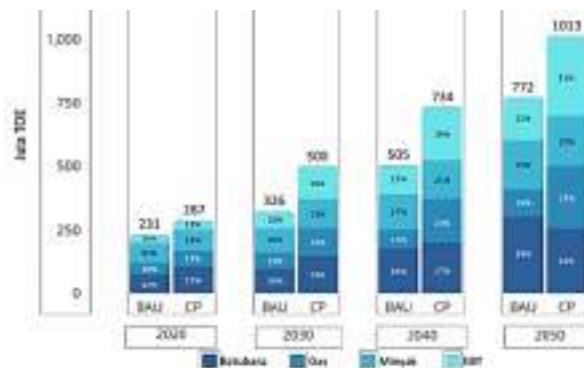
Indonesia, dengan jumlah penduduk yang terus bertambah dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, menghadapi permasalahan serius di sektor energi. Dalam beberapa tahun terakhir, isu ini menjadi fokus perhatian pemerintah, masyarakat, dan para ahli. Permasalahan utama yang dihadapi Indonesia di sektor energi, sumber daya terkait, dan solusi potensial.

3.1.1 Ketergantungan pada Energi Fosil

Kebutuhan energi di Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil, terutama batu bara dan minyak bumi. Hal ini tidak hanya merugikan lingkungan, tetapi juga membuat negara rentan terhadap fluktuasi harga bahan baku energi di pasar global (Santoso, 2019).

Energi fosil masih akan mendominasi pasokan energi primer Indonesia. Peningkatan selama periode perkiraan sebesar 407 juta ton setara minyak dalam Skenario Business-As-Usual (BaU) dan 448 juta ton (CP). Meskipun nilai absolut energi fosil meningkat, namun porsi energi fosil terhadap total pasokan energi primer mengalami penurunan menjadi 88% dalam Skenario

Business-As-Usual (BAU) dan 69% (CP) hingga tahun 2050 seperti Gambar 1.



Gambar 3.1: BAU RUEN Energi Primer (Setyono and Kiono, 2021)

Kondisi energi Indonesia di masa depan tanpa adanya perubahan mendasar pada kebijakan, dunia usaha, dan pengguna sektor energi adalah Skenario Business-As-Usual (BaU). Kedua, perkiraan struktur energi disesuaikan berdasarkan skenario kebijakan (CP) saat ini. Berbeda dengan skenario BaU, skenario CP memberikan gambaran mengenai kondisi energi Indonesia di masa depan ketika kebijakan RUEN diterapkan sepenuhnya (Setyono and Kiono, 2021).

3.1.2 Infrastruktur Energi yang Terbatas

Indonesia merupakan negara dengan wilayah yang luas dengan jumlah penduduk yang besar, beragam dan tersebar secara geografis. Beberapa wilayah di Indonesia, terutama wilayah paling terpencil, masih kesulitan mengakses pasokan energi yang dapat diandalkan.

Sebagian konsumen listrik belum menikmati kualitas listrik yang baik. Pulau Jawa secara umum tidak mengalami pemadaman listrik dalam durasi atau frekuensi yang signifikan, namun banyak daerah lain yang tidak mendapatkan listrik dengan kualitas standar. (Sitompul, Abadi and Tumiwa, 2017).

Defisit energi merupakan permasalahan energi utama di Indonesia. Seperti di Jawa, banyak pembangkit listrik dengan jaringan terintegrasi. Misalnya saja pembangkit listrik Paiton di Pulau Jawa yang mengalami gangguan listrik, dapat mengambil dari Muara Karang. Tidak demikian halnya dengan Kupang, Kupang belum memiliki jaringan yang lengkap dan saling melengkapi seperti

Jabodetabek. Di Kupang, pemadaman listrik bisa terjadi sewaktu-waktu sehingga menyebabkan pemadaman listrik meluas. Untungnya, saat ini Kupang juga merasakan manfaat dari hadirnya MVPP untuk mengkompensasi kekurangan listrik tersebut.

Padamnya listrik di Jabodetabek rata-rata terjadi dua kali dalam sebulan, sedangkan warga Kota Kupang bisa mengalami mati listrik hingga 11 kali dalam sebulan. Waktu pemadaman listrik juga berbeda dengan Jabodetabek, hanya 2,15 jam/bulan sedangkan Kupang 13,15 jam/bulan. Ini angka rata-rata, kalau dilihat kemana-mana, ada rumah yang mati listrik berjam-jam, bahkan berkali-kali dalam sehari.

Selain defisit energi, ternyata tegangan listrik di Jakarta dan Kupang juga mengalami hal serupa. Ada yang baik, ada pula yang buruk. Di antara seluruh titik pemantauan, hampir 40% diantaranya bertegangan rendah. Variasi tegangan pada lokasi yang berbeda dapat disebabkan oleh penuaan gardu induk dan peningkatan jumlah pelanggan listrik di beberapa lokasi, terutama di daerah padat penduduk seperti daerah pengawasan Pondok Gede, Bekasi. Rendahnya tegangan di tempat lain seperti Pekayon, Jakarta Timur disebut disebabkan karena letak pemukiman tersebut di dekat kawasan industri yang banyak mengonsumsi energi untuk beroperasi.

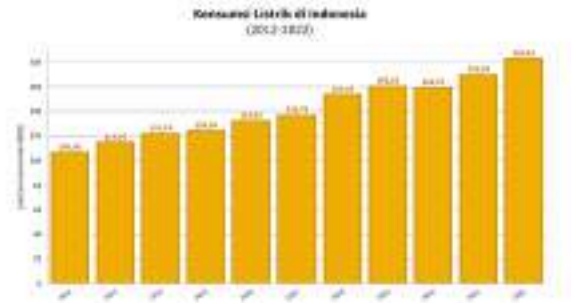
Distribusi kualitas pasokan listrik yang adil juga terkait dengan tarif dasar listrik. Nilai tarif dasar listrik yang sama di seluruh Indonesia memerlukan kualitas pasokan listrik yang sama. Perbedaan kualitas pasokan listrik antara wilayah Jabodetabek dan Kupang cukup besar, sehingga perbedaan harga listrik perlu dikaji oleh pengambil kebijakan dan penyedia jasa listrik. Dengan cara ini, pelanggan mendapatkan manfaat pasokan listrik berkualitas yang sepadan dengan harga yang mereka bayar (Citraningrum, 2017).

Berbagai permasalahan infrastruktur energi dapat membatasi pertumbuhan ekonomi di wilayah-wilayah tersebut. Makna, Infrastruktur energi listrik bagi seluruh masyarakat merupakan tantangan yang masih perlu diselesaikan.

3.1.3 Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik

Pertumbuhan ekonomi yang pesat dan urbanisasi menyebabkan peningkatan konsumsi energi di Indonesia. Hal ini termasuk meningkatnya permintaan di sektor transportasi dan industri. Meskipun merupakan indikator pertumbuhan ekonomi yang positif, diperlukan strategi untuk memenuhi permintaan energi yang terus meningkat ini secara berkelanjutan dan efisien.

Konsumsi listrik di Indonesia, menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), akan mencapai 183,41 juta barel setara minyak (BOE) pada tahun 2022. Angka tersebut meningkat 7,92% dibandingkan tahun sebelumnya. 169,95 juta BOE seperti Gambar 2.



Gambar 3.2: Konsumsi Energi Listrik di Indonesia setara Minyak (BOE) (Widi, 2023)

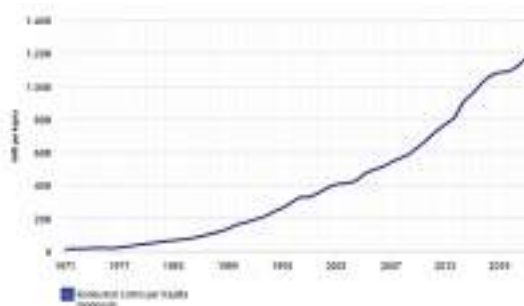
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat energi listrik di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 183,41 juta barel setara minyak (BOE). Angka tersebut meningkat 7,92% per tahun dibandingkan tahun sebelumnya yaitu 169,95 juta BOE. Melihat tren tersebut, konsumsi energi listrik dalam negeri cenderung meningkat selama satu dekade terakhir. Penurunan konsumsi hanya terjadi satu kali yaitu sebesar 0,93%, yaitu dari 160,62 juta BOE pada tahun 2019 menjadi 159,72 juta BOE pada tahun 2020 seperti Gambar 3.



Gambar 3.3: Sektor Konsumsi Energi Listrik (Widi, 2023)

Dilihat dari penggunaan, konsumsi listrik rumah tangga merupakan yang terbesar di Indonesia pada tahun lalu, yakni sebesar 71,36 juta BOE. Berikutnya konsumsi energi listrik sektor industri sebesar 69,62 juta BOE. Selanjutnya penggunaan energi listrik komersial tercatat sebesar 42,23 juta BOE. Sedangkan konsumsi listrik untuk transportasi paling rendah yaitu hanya 211.000 BOE (Widi, 2023).

Di sisi lain, konsumsi energi listrik per kapita di Indonesia tercatat sebesar 1.173 kilowatt-jam (kWh) pada tahun 2022. Konsumsi tersebut meningkat 4,45% dibandingkan tahun sebelumnya sebesar 1.123 kWh (Widi, 2023) (Adi Ahdiat, 2023) seperti Gambar 4.



Gambar 3.4: Konsumsi Listrik Per Kapita di Indonesia (Adi Ahdiat, 2023)

Konsumsi listrik per kapita adalah jumlah total listrik yang digunakan di suatu wilayah dibagi dengan jumlah penduduk di wilayah tersebut selama kurun waktu satu tahun. Ini adalah rata-rata konsumsi listrik per kapita. Selama periode 1971-2022, rata-rata konsumsi listrik Indonesia meningkat hampir setiap tahun, kecuali pada tahun 1973, 1976, dan 1998 yang konsumsinya mengalami penurunan.

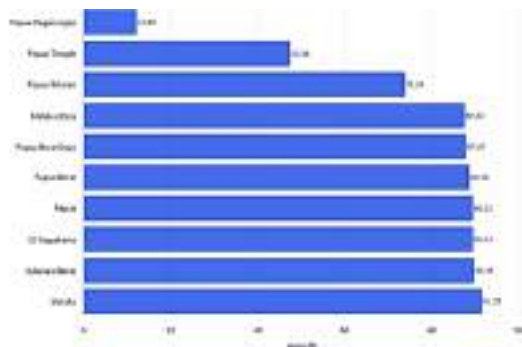
Kementerian ESDM menargetkan peningkatan konsumsi listrik pada tahun ini hingga mencapai 1.336 kWh/orang pada akhir tahun 2023 dengan menyiapkan strategi tertentu untuk mendorong konsumsi tersebut. Salah satu strateginya adalah dengan memastikan listrik dapat selalu tersedia di seluruh pelosok tanah air. Ada beberapa hal yang dilakukan agar jaringan listrik dapat menyala 24 jam sehari, seperti perluasan jaringan, diesel, serta perpindahan mesin dan peningkatan kapasitas genset. Kementerian ESDM juga menargetkan angka elektrifikasi nasional mencapai 100% pada tahun 2023. Hingga akhir tahun 2022, angka tersebut masih sebesar 99,63 dengan sekitar 318.000 rumah tangga belum memiliki listrik (Adi Ahdiat, 2023).

3.1.4 Rasio elektrifikasi di Indonesia

Tingkat jangkauan listrik di suatu wilayah disebut tingkat elektrifikasi. Di mana rasio per luas antara jumlah rumah dengan jumlah pelanggan yang mempunyai sumber penerangan. Elektrifikasi di Indonesia telah menjadi prioritas pemerintah dalam beberapa tahun terakhir.

Berdasarkan laporan Perusahaan Listrik Negara (PLN) 2022, profitabilitas listrik di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Nilainya 97,63 dengan jumlah pelanggan dalam negeri sebanyak 78.327.897 orang. Jumlah pelanggan tersebut meningkat sebesar 2,62 juta dibandingkan periode yang sama tahun lalu dari 75.726.553 pelanggan pada tahun 2021. Meskipun terdapat tren nasional yang positif, beberapa provinsi di Indonesia masih memiliki tingkat elektrifikasi di bawah 95% pada tahun 2022 (Nabilah, 2023).

Pemerintah terus berupaya meningkatkan angka elektrifikasi nasional khususnya wilayah timur (bagian dari Indonesia) yang akan menjadi fokus perhatian ke depan, sehingga dapat semakin mendorong ketenagalistrikan. Maluku, di Utara. Maluku, Papua, bahkan Nusa Tenggara Timur dan pulau-pulau terpencil lainnya (Pribadi, 2023). Dari sepuluh provinsi di Indonesia yang tingkat elektrifikasi terendah, delapan provinsi berada di kawasan timur Indonesia. Provinsi dengan tingkat elektrifikasi terendah di Tanah Air berada di Papua Pegunungan, hanya 12,09% pada tahun 2022. Disusul juga oleh Papua, Papua Tengah, dan Papua Selatan yang masing-masing hanya 47,36% dan 73,54%. Sementara Provinsi Maluku Utara mempunyai tarif listrik sebesar 87,42% , berbeda jauh dengan provinsi tetangganya, yaitu Maluku, yang mempunyai cakupan listrik lebih baik yaitu 91,33% seperti Gambar 5.



Gambar 3:5: Provinsi dengan Rasio Elektrifikasi Terendah Tahun 2022 (Nabilah, 2023)

Satu-satunya provinsi di Pulau Jawa yaitu D.I Yogyakarta yang memiliki tingkat elektrifikasinya terendah yakni hanya mencapai 89,33 (Nabilah, 2023). Dengan demikian, diharapkan seluruh wilayah Indonesia dapat memperoleh manfaat dari pasokan listrik 24 jam dan tentunya dapat mendorong pertumbuhan ekonomi daerah.

3.2 Solusi Potensial Energi di Indonesia

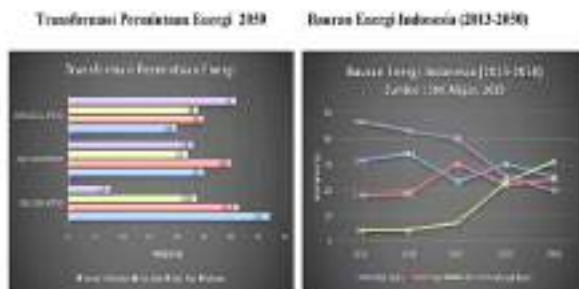
Salah satu negara terbesar di dunia adalah Indonesia dengan jumlah penduduk lebih dari 270 juta jiwa. Selama beberapa dekade terakhir, pertumbuhan ekonomi yang pesat dan kemajuan teknologi di banyak kawasan perumahan dan industri di Indonesia telah menyebabkan peningkatan permintaan energi listrik secara signifikan. Namun, tantangan terbesar yang dihadapi Indonesia adalah memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat dengan tetap mempertimbangkan dampak lingkungan yang serius, seperti perubahan iklim.

Namun, ada peluang besar untuk mengatasi tantangan ini. Melalui upaya bersama antara pemerintah, industri dan masyarakat, Indonesia dapat mengatasi tantangan-tantangan ini dan mempertahankan konsumsi listrik yang berkelanjutan.

3.2.1 Energi Baru Terbarukan

Untuk menghadapi sumber daya energi fosil nasional yang semakin terbatas dan kebutuhan energi masyarakat yang semakin meningkat, pemerintah menggalakkan penggunaan energi baru dan terbarukan sebagai peralihan atau transisi energi pada tahun 2050. Energi baru terbarukan meliputi energi panas bumi, energi surya, bioenergi, tenaga air, energi angin dan Penggunaan biofuel (B-20) sehingga energi fosil berkurang penggunaannya seperti Gambar 6.

Kebutuhan energi dalam negeri berubah seiring waktu. Diperkirakan kebutuhan energi terbarukan akan terus tumbuh dan mencapai nilai tertinggi hingga tahun 2050 yaitu 31% dengan total 1.012 MTEP. Pemerintah menargetkan pangsa bauran energi baru dan terbarukan (EBT) meningkat menjadi 23% pada tahun 2025 dan menjadi 31% pada tahun 2050. Hal ini menjadikannya pangsa terbesar dari seluruh sumber energi lainnya.



Gambar 3.5: Transformasi Energi dan Bauran Energi 2050 (Katadata, 2020)

Energi baru terbarukan memiliki banyak keunggulan dibandingkan sumber energi lainnya. Keunggulan energi terbarukan adalah berasal dari sumber daya alam yang tidak terbatas, ramah lingkungan dan tidak bergantung pada harga bahan bakar fosil.

Energi baru terbarukan mempunyai sumber daya yang tidak akan pernah habis, terutama sumber daya alam seperti air, sinar matahari, energi panas bumi, gelombang laut, angin, pasang surut air laut, hewan dan tumbuhan, dan sumber energi baru terbarukan sangat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi sebagaimana seperti karbon dioksida (CO₂) dalam proses produksi energi.

Sehingga energi baru terbarukan dapat menjadi solusi Indonesia terhadap permasalahan energi saat ini, dan dapat meningkatkan perekonomian, membuka lebih banyak lapangan kerja, ramah lingkungan dan membawa manfaat lain yang dapat membantu Indonesia menjadi lebih baik dalam bidang ketenagalistrikan, masyarakat, perekonomian serta lingkungan (Katadata, 2020).

3.2.2 Penghematan Energi

Penghematan energi listrik merupakan solusi terhadap permasalahan yang semakin berkembang terkait energi listrik. Permasalahan yang terjadi pada sistem kelistrikan merupakan permasalahan yang berkaitan dengan kurangnya keandalan dan efisiensi energi listrik pada sistem penghematan atau penyimpanan. Akibatnya, tidak ada sistem konservasi atau penyimpanan yang memadai saat energi listrik dibutuhkan.

Masyarakat di Indonesia kurang peduli dengan penghematan energi listrik karena mereka kurang paham akan adanya subsidi dan menganggap tidak

perlu melakukan penghematan karena listrik yang mereka miliki dengan harga murah. Penghematan energi listrik seharusnya pemerintah sendiri yang mengatur peralatan hemat energi bagi konsumen dan produsen mengharuskan penjualan peralatan hemat energi di dalam negeri (Pratama, 2013).

Berbagai sektor menggunakan energi listrik seperti rumah tangga, industri, komersial, dan transportasi. Semua sektor tersebut memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan kita sehari-hari dalam penggunaan energi listrik. Namun, penggunaan berlebihan dan kurangnya kesadaran akan pentingnya penghematan energi listrik telah menyebabkan tantangan serius dalam hal berkelanjutan.

Langkah penting dalam upaya menjaga lingkungan dan mengurangi tagihan listrik di sektor rumah tangga dengan dilakukannya penghematan energi listrik. Salah satu solusi yang bisa dilakukan adalah dengan mengganti lampu konvensional dengan lampu LED yang lebih hemat energi. Selain itu, mematikan perangkat elektronik saat tidak digunakan seperti televisi, komputer, dan charger ponsel juga dapat membantu mengurangi konsumsi listrik. Menyesuaikan suhu AC sesuai kebutuhan dan melakukan perawatan rutin pada peralatan rumah tangga seperti lemari es dan mesin cuci juga dapat mengurangi konsumsi energi. Berinvestasi pada insulasi dan penutup jendela yang baik juga dapat membantu menjaga suhu dalam ruangan, sehingga mengurangi kebutuhan pemanasan atau pendinginan. Melalui tindakan sederhana ini, kita dapat berkontribusi aktif dalam penghematan energi listrik dan berperan dalam melindungi planet kita untuk generasi mendatang (Tim Editorial Rumah.com, 2022).

Sedangkan untuk mengurangi konsumsi energi pada sektor industri salah satu langkah utamanya adalah mengganti peralatan dan mesin produksi yang lebih tua dengan yang lebih efisien secara energi. Selain itu, memasang sensor otomatisasi yang dapat mematikan peralatan saat tidak digunakan atau mengatur suhu lingkungan secara cerdas juga membantu mengurangi konsumsi listrik.

Penghematan energi listrik di sektor industri bukan hanya tentang mengurangi biaya operasional, tetapi juga tentang tanggung jawab sosial dan lingkungan. Ini membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan mendukung keberlanjutan lingkungan, sambil meningkatkan daya saing perusahaan di pasar global yang semakin berfokus pada keberlanjutan (www.rmc-indonesia.com, 2020).

Bab 4

Potensi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

4.1 Historis Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Air

Sebagai sumber energi terbarukan, tenaga air telah lama digunakan oleh manusia, bahkan sejak peradaban kuno, sebelum adanya penemuan listrik. Kincir air telah ada di hampir semua belahan dunia. Peninggalan roda air ditemukan di beberapa lokasi di China, Mesir, dan Mesopotamia (Patty, 1995). Dalam seabad terakhir, telah banyak hal yang terjadi berkaitan dengan pengembangan listrik tenaga air.

Di tahun 1977, Jepang telah menghasilkan tenaga air setara 26,15 juta kW, terbagi atas 18,1 juta kW dari pembangkit listrik konvensional, dan 8,05 juta kW dari sumber dengan pompa. Jumlah tersebut kemudian meningkat di tahun 1985 menjadi 41,5 juta kW. Gambaran ini saja telah menunjukkan peningkatan energi air di satu negara. Kondisi di Indonesia pun menunjukkan adanya peningkatan pemetaan energi air dan pemanfaatannya. Di masa tahap Pembangunan Lima Tahun (Pelita) III, tercatat potensi teoritis tenaga air Indonesia mencapai 31 juta kW. Tercatat pula bahwa kapasitas terpasang pusat

di tahun 1977 baru mencapai 450 mW, dengan potensi di dekat pusat-pusat ekonomi di pulau Jawa sekitar 2000 MW yang belum dimanfaatkan (Sanusi, 1982).

Pemanfaatan potensi tenaga air telah dilakukan di Indonesia sejak jaman kolonial Belanda. Rekaman mengenai PLTA tertua di Indonesia disajikan dalam beberapa referensi. Rekaman tersebut menyebutkan bahwa bangunan PLTA tertua adalah PLTA Tonsea Lama, yang berada di kawasan Desa Tonsea Lama, Kecamatan Tondano Utara, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara, yang mengandalkan aliran Sungai Tondano. PLTA Tonsea Lama dibangun pada masa kolonial Belanda di tahun 1912. Di masa pendudukan Jepang, PLTA ini dikuasai oleh Tentara Pendudukan Jepang, dan setelah Indonesia merdeka, sejak 27 Oktober 1945 selanjutnya dikelola oleh Jawatan Listrik dan Gas, yang berada di bawah Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik saat itu, yang sekarang bernama PT. PLN. Dengan fasilitas yang sebagian telah berusia beberapa dekade, seperti bendungan air, terowongan, turbin, hingga generator, PLTA dengan kapasitas 40 MW tersebut masih dalam operasi dan mampu memberi listrik bagi ribuan keluarga di Sulawesi Utara, dan dengan interkoneksi Sulawesi Utara Gorontalo, ikut mendukung ketersediaan pasokan energi listrik di kedua wilayah.

Selain PLTA Tonsea Lama, PLTA tertua lain, dalam hal ini di Sumatera, adalah PLTA Tes, yang berada Kecamatan Lebong Selatan, Kabupaten Rejang Lebong, Provinsi Bengkulu, yang digerakkan oleh aliran Sungai Ketahun, yang mengairi Danau Tes. PLTA Tes dahulu merupakan penghasil listrik utama di wilayah Keresidenan Bengkulu, di mana listrik yang dibangkitkan oleh PLTA tersebut dialirkan melalui kabel-kabel ke pusat penambangan emas dan perak milik pemerintah di Lebong Utara serta ke tambang swasta yang dahulu dikelola oleh perusahaan Belanda kala itu, yakni *Mijnbouw Maatschappij Rejang Lebong*. PLTA Tes terdiri dari 2 sentral unit di mana yang pertama adalah unit PLTA Tes Lama yang mulai dibangun pada tahun 1912-1923 oleh pemerintahan kolonial Hindia Belanda dan beroperasi mulai tahun 1923 di Desa Turan Tiging Kabupaten Rejang Lebong. (Stroomberg, 2018; Sulisty, 2021). Pada tahun 1958, dilakukan renovasi pada unit pertama untuk memperbaiki kerusakan yang ada sejak adanya bombardir menyeluruh yang dilakukan oleh tentara pendukung Jepang, dan terbangunlah unit 1 dengan daya yang terpasang pasca renovasi menjadi 2 X 660 kW. Unit kedua dinamai PLTA Tes baru yang didirikan antara tahun 1986-1991 dengan daya terpasang 4 X 4410 kW, dan menggenapkan daya total terpasang PLTA Tes

menjadi sebesar 18.960 kW, sejak tahun 1991. Di mana kini, daya listrik dari PLTA Tes mendukung kebutuhan listrik di Provinsi Bengkulu melalui jaringan transmisi 70 kV. Di pulau Jawa, tercatat PLTA tertua adalah PLTA Giringan di Madiun, Jawa Timur, yang dibangun tahun 1919, yang terutama dibuat untuk memberi pasokan listrik bagi bengkel kereta api Madiun. Hingga tahun 1954, telah berdiri beberapa PLTA dengan total kapasitas 141,34 MW. Hingga akhir pelita II, kapasitas terpasang PLTA adalah sekitar 363, 43 MW (Sanusi, 1982).

Jelas bahwa pemanfaatan tenaga air sebagai sumber energi listrik bukan hal yang baru di negara kita. Sumber energi terbarukan ini telah lama menjadi pemasok energi listrik bahkan sejak awal kehadiran listrik di Indonesia (Sulistyo, 2021).

Tulisan memuat beberapa sumber yang memperlihatkan data yang mungkin berbeda-beda mengenai berapa sesungguhnya potensi listrik tenaga air di Indonesia.

4.2 Potensi Energi Listrik Tenaga Air

Pembangkit tenaga listrik tenaga air dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa golongan berdasarkan klasifikasi pada SNI 8396:2019. Sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 4.1.

Tabel. 4.1: Klasifikasi PLTA berdasar skala

Jenis PLTA	Kapasitas
PLTA Besar	>100 MW
PLTA Menengah	15 – 100 MW
PLTA Kecil	1-15 MW
Mini Hidro	100 kW – 1 MW
Micro Hidro	5 kW – 100 kW
Pico Hidro	<5 kW

Perhitungan potensi energi listrik tenaga air umumnya didasarkan kepada potensi aliran sungai di suatu wilayah. Dengan jumlah sungai yang begitu banyak di Indonesia, maka secara rasional dapat dikatakan bahwa potensi energi listrik tenaga air kita akan sangat besar pula. Dari masa ke masa, berbagai perkiraan besarnya potensi energi listrik kita telah dipublikasikan.

Sebuah estimasi menyebutkan di tahun 1982, bahwa potensi energi air di Indonesia adalah sebesar 31.000 MW (Sanusi, 1982). Di sekitar tahun tersebut, atau di masa Pelita III, pemanfaatan tenaga air telah mendapat perhatian besar dari pemerintah, namun jika dilihat dari rasio antara pemanfaatan energi listrik tenaga air jika dibandingkan dengan kebutuhan energi setara batubara, masih terbelang sedikit. Tabel 4.2 berikut memberikan gambaran presentasi tersebut.

Tabel 4.2: Kebutuhan energi Indonesia setara Juta ton batubara (1979-1984)

Tahun	Kebutuhan	Berupa tenaga air	% tenaga air
1978	27,297	0,311	1,14
1979	30,615	0,398	1,30
1980	34,176	0,510	1,49
1981	37,906	0,516	1,36
1982	42,054	0,521	1,24
1983	46,828	0,548	1,17
1984	51,919	1,084	2,09

Dalam sumber yang sama, dipaparkan pula proyeksi pertumbuhan energi yang dihasilkan oleh PLTA di Pulau Jawa, dari 1,951 GWH di tahun 1979, menjadi 7,469 GWH di tahun 2000, sebuah prediksi yang cukup optimis (Sanusi, 1982). Optimisme ini nampaknya didukung oleh berbagai rencana pemerintah saat itu untuk membangun berbagai PLTA di seluruh tanah air.

Dalam Pelita III, juga dicanangkan pembangunan beberapa PLTA antara lain, PLTA Saddang di Sulawesi Selatan, PLTA Maninjau di Sumatera Barat, PLTA Sengguruh di Jawa Timur, PLTA Garung di Jawa Tengah, PLTA Wlingi II di Jawa Timur, PLTA Juanda di Jawa Barat dan beberapa PLTA di

lokasi lain. Hingga tahun 1984, pemanfaatan tenaga air mencapai 14,3% daya listrik dengan daya yang dihasilkan sebesar 2.117.235 kWh dengan energi tahunan sebesar 155.000 gWh. Di tahun 1988, Reksohadiprojo merangkum informasi dari beberapa PLTA berkaitan kapasitas terpasang dan potensi tahunannya sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.3 (Reksohadiprojo, 1988).

Tabel 4.3: Proyeksi pengembangan PLTA, berdasar data tahun 1984

Rencana	Lokasi	Kapasitas terpasang (MW)	Potensi Energi Tahunan (gWh)
Saguling (I)	Jawa	350	1974
Saguling (II)	Jawa	350	182
Cirata	Jawa	500	1370
Mrica	Jawa	180	600
Maung	Jawa	170	246
Kesamben	Jawa	33	98
Maninjau	Sumatera	68	270
Singkarak	Sumatera	180	629
Tes	Sumatera	16	101
Bandeng Agung I	Sumatera	4	-
Bandeng Agung II	Sumatera	16	-
Batu Tegi	Sumatera	24	50
Pade Kembayang	Kalimantan	42	196
Riam Kiwa	Kalimantan	42	196
Tenggari I	Sulawesi	16,6	90

Tenggari II	Sulawesi	16,4	87
Sawangan	Sulawesi	17,5	64
Bakaru I	Sulawesi	124	970
Bakaru II	Sulawesi	62	100
Sentani	Papua	13	30

Angka-angka tersebut di atas dalam kenyataannya terus bertambah dengan dibangunnya berbagai pembangkit listrik baru yang ditenagai oleh sungai-sungai besar yang sebelumnya belum dilirik. Dalam prosesnya, pembangunan dan pengelolaan bendungan besar beserta pembangkit listriknya kemudian mulai diminati oleh pihak swasta.

Tabel 4.4: Proyeksi pengembangan PLTA, berdasarkan data tahun 1984

Nama PLTA	Lokasi	Unit terpasang (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)
Cirata	Jawa barat	8 × 126	1008
Saguling	Jawa barat	4 × 175	700
Sulewana-Poso III	Sulawesi Tengah	5 × 80	400
Tangga	Sumatera Utara	4 × 79.25	317
Sigura-gura	Sumatera Utara	4 × 71.50	286
Sutami/Brantas	Jawa Timur	12 × 35 × 3	281
Musi	Bengkulu	3 × 70	210
Sulewana-Poso II	Sulawesi Tengah	3 × 65	195
Mrica	Jawa Tengah	3 × 61.5	184.5
Asahan I	Sumatra Utara	2 × 90	180

Singkarak	Sumatra Barat	4 × 43.75	175
Jatiluhur	Jawa Barat	7 × 25	175
Larona	Sulawesi Selatan	3 × 55	165
Sulewana-Poso I	Sulawesi Tengah	4 × 40	160
Karebbe	Sulawesi Selatan	2 × 70	140
Balambano	Sulawesi Selatan	2 × 65	130
Bakaru	Sulawesi Selatan	2 × 63	126
Koto Panjang	Riau	3 × 38	114
Karangates	Jawa Timur	3 × 35	105

4.3 Status Terkini Pemanfaatan

Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021 – 2030, dalam satu atau dua dekade ke depan, energi air diperkirakan masih akan menjadi andalan bagi pertumbuhan energi terbarukan di Indonesia, yang memiliki begitu banyak sungai dengan potensi hidrolis yang sangat besar. Sehingga tidak keliru jika dianggap bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) berpotensi menjadi pemain utama dalam upaya transisi dari energi fosil ke energi terbarukan. Pengaruh penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) dalam mengurangi emisi cukup besar. Menurut perhitungan, satu megawatt dari pembangkit EBT mampu mengurangi karbon dioksida sebesar 483 ton.

Estimasi dari kementerian Pekerjaan umum di tahun 2014 menyebutkan, bahwa potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Indonesia adalah sebesar 75.670 Megawatt (MW) (berdasarkan kajian PLN bersama Nippon Koei tahun 1983) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mini/Makro Hidro (PLTM/PLTMH) sebesar 770 MW, yang merupakan sumber daya yang harus dimanfaatkan secara optimal untuk kesejahteraan rakyat.

Berdasarkan data yang telah dilansir oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), potensi sumber energi tenaga air tersebar sebesar

15.600 MW (20,8%) di Sumatera, sebesar 4.200 MW (5,6%) di Jawa, Kalimantan sebesar 21.600 MW (28,8%), Sulawesi sebesar 10.200 MW (13,6%), Bali dan Nusa Tenggara sebesar 620 MW (0,8%), Maluku sebesar 430 MW (0,6%) dan Papua sebesar 22.350 MW atau sekitar 29,8% dari total potensi nasional. Namun demikian, dari potensi besar tersebut hanya sekitar 10.1% atau sebesar 7,572 MW, yang telah dikembangkan.

Berdasarkan RUPTL 2021-2030, kapasitas pembangkit EBT akan ditingkatkan hingga 20.923 MW, dan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA/MH) akan ditingkatkan hingga mencapai 10.391 MW.

Potensi energi air di Indonesia di tahun 2022, telah mencapai 94 GW, berdasarkan hasil perhitungan jumlah lokasi potensial se-Indonesia sebanyak 52.566 lokasi dengan total potensi energi hidro Indonesia dengan sistem Run Off River, sedangkan pemanfaatannya baru mencapai 6,2 GW. Untuk memanfaatkan potensi tersebut, pemerintah mendorong pembangunan PLTA di beberapa lokasi, seperti PLTA Poso dengan kapasitas 515 MW, PLTA Batang Toru di Tapanuli Selatan yang berkapasitas 510 MW, dan PLTA upper Cisokan pumped storage sebesar 1000 MW. Berkaitan dengan upaya transisi energi, sebagai misal, PLTA Batang Toru yang berkapasitas 510 MW di Tapanuli Selatan, Sumatera Utara direncanakan untuk memberi kontribusi pada pengurangan emisi karbon sebesar sekitar 1,6 juta ton per tahun atau setara dengan kemampuan 12 juta pohon menyerap karbon (Yurika, 2021). Jika dilihat dari penggunaan energi terbarukan lain, nampak bahwa energi air memegang porsi yang cukup besar seperti tampak dalam Tabel 4.5.

Tabel. 4.5: Pemanfaatan energi baru dan terbarukan Indonesia (2018-2022)

No	Tahun	Tenaga Air / MW	Bio energi / MW	Panas Bumi / MW	Tenaga Surya / MW	Tenaga Angin / MW
1	2018	5.791,4	1.874,8	1.948,3	65,2	143,5
2	2019	5.995,7	2.098,3	2.130,7	150,6	154,3
3	2020	6.140,6	2.253,2	2.130,7	172,9	154,3
4	2021	6.601,8	2.284	2.286,1	204,7	154,3
5	2022	6.688,7	3.086,6	2.342,6	270,3	154,3

Dalam laporan yang berbeda oleh International Renewable Energy Agency (IRENA), potensi EBT terbesar Indonesia justru adalah energi surya. Laporan Indonesia Energy Transition Outlook (Oktober 2022) IRENA menyebutkan memperkirakan potensi energi surya Indonesia mencapai 2.898 gigawatt

(GW), sedangkan potensi energi air hanya 94,6 GW. Sumber energi lain adalah energi angin lepas pantai (offshore wind) dengan potensi 589 GW, energi biomassa dengan potensi 43,3 GW, energi panas bumi dengan potensi 29,5 GW, energi angin daratan (onshore wind) dengan potensi 19,6 GW, energi arus/panas laut dengan potensi 17,9 GW. Dari begitu banyak sumber energi terbarukan, IRENA menaksir bahwa kapasitas terpasang EBT Indonesia belum mencapai 1% dari total potensi yang ada (“Indonesia Energy Transition Outlook,” 2022).

4.4 Tantangan Pemanfaatan PLTA

Kementerian Pekerjaan Umum telah mencanangkan untuk memanfaatkan air di bangunan-bangunan air utama yang menjadi aset Kementerian PU seperti pada waduk-waduk dan bendung-bendung untuk dapat dimanfaatkan sebagai PLTA, termasuk untuk PLTM. Melalui kerja sama antar lembaga dengan Kementerian ESDM, semua potensi energi air akan diintegrasikan dalam pola dan rencana pengelolaan SDA, termasuk persyaratan dan prosedur perizinannya. Demikian pula perihal regulasi yang juga patut diselaraskan untuk menarik minat pihak swasta untuk berinvestasi dalam pembangunan bendungan serba guna, dengan tentu saja memperhatikan semua persyaratan terutama kajian lingkungan atau AMDAL .

Pengusahaan PLTA di Indonesia saat ini pun cenderung lebih kompleks dengan terlibatnya pemerintah, perusahaan utilitas, pengembang swasta, dan pemodal. Penelitian yang dilakukan oleh Nugraha dkk menunjukkan bahwa kondisi kelembagaan, keputusan masa lalu, atribut pemangku kepentingan, dan posisi dalam jaringan pemangku kepentingan merupakan faktor yang berpengaruh terhadap interaksi di pasar tenaga air. Di mana, pasar kelistrikan Indonesia yang diatur dengan ketat, dan prioritas energi yang terjangkau, serta adanya ketergantungan pada batubara telah memunculkan tantangan dalam meningkatkan investasi swasta di pembangkit listrik tenaga air, terutama untuk skala kecil di Indonesia, seperti timbulnya konflik kepentingan antar pemangku kepentingan, kecenderungan pada untuk harga energi yang rendah, adanya sentralisasi, dan terbatasnya sumber daya perusahaan utilitas dalam hal ini PLN, lapangan permainan yang tidak seimbang antara industri fosil dan energi air, dan kurangnya kompetensi para pengembang, para pemodal lokal, dan pemangku kepentingan di daerah (Nugraha, 2022).

Pemerintah telah mengusahakan kemudahan prosedur perizinan usaha penyediaan tenaga listrik PLTA, untuk mempercepat pemanfaatan air sebagai sumber energi, dengan mendorong kebijakan dan regulasi untuk mempercepat pencapaian tingkat pemanfaatan energi aliran dan terjunan air dalam bauran energi primer nasional serta menerbitkan regulasi yang mengatur harga energi listrik dari pembangkit listrik yang menggunakan energi air.

Selain itu terdapat pula tantangan-tantangan teknis, antara lain kurang akuratnya metode penaksiran potensi tenaga air. Pemerintah melalui Direktorat Bina Teknik Sumber Daya Air telah mulai mengembangkan metoda pembuatan peta potensi hidro dengan metoda estimasi terbaru perhitungan debit andalan untuk menghasilkan peta potensi hidro yang mencakup seluruh wilayah Indonesia. Dengan metode yang baru berdasarkan tinggi head, debit andalan Q90 sesuai dengan SNI 6738:2015 yang dihitung menggunakan pemodelan WFLOW berdasarkan data curah hujan (Rainfall Runoff). Selain itu dengan perbaikan data head sungai, menggunakan Digital Elevation Model (DEM) 30 meter dapat dihasilkan data elevasi sungai yang lebih baik. Peta potensi ini akan meliputi seluruh pulau-pulau besar di Indonesia yang meliputi mikrohidro, minihidro, dan PLTA.



Gambar 4.1: Peta Potensi Tenaga Air Indonesia

PLN sebagai penghasil listrik utama negeri ini berkomitmen mengembangkan pembangkit hidro dengan total kapasitas 10,38 gigawatt hingga 2030 dengan pembagian pembangkit listrik tenaga air (PLTA) sebesar 9,27 GW dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTM) sebesar 1,11 GW untuk meraih target Indonesia bagi net zero emission 2060. Untuk mencapai bauran EBT

sebesar 23 persen pada 2025, maka dibutuhkan penambahan 4,2 GW pembangkit tenaga air. Hingga akhir 2021, tingkat bauran energi baru terbarukan baru mencapai 13,5 persen

Pembangkit listrik tenaga air bisa dianggap sebagai teknologi yang paling tepat guna saat ini dibandingkan pembangkit tenaga lain. Dengan tingkat efisiensi sangat tinggi, hingga di atas 90%, dengan faktor kapasitasnya minimal 40 persen yang juga cukup tinggi. Pembangkit tenaga air juga dianggap mampu untuk menangani fluktuasi beban dengan pemeliharaan yang relatif lebih sederhana dibanding jenis pembangkit lain.

Terlepas dari berbagai kelebihan seperti daya yang relatif besar dan menerus, kemudahan dalam pengaturan level daya, keandalan pasokan listrik, tidak diperlukannya bahan bakar, alternatif sumber energi ini sesungguhnya bukan tanpa kekurangan. Kekurangan besarnya antara lain adalah biaya investasi tinggi, waktu pembangunan yang lama, tantangan ekonomi proyek yang besar dari sisi pendanaan, risiko penggenangan wilayah yang luas, dan karenanya membutuhkan tindakan relokasi dan pembebasan lahan yang kompleks, selain itu adanya risiko ekologis berupa ancaman terhadap habitat alami yang luas, terputusnya jalur biota air, adanya risiko banjir, dan risiko kegagalan bendungan. Namun sebagai sumber energi yang terbarukan, sumber listrik tenaga air jelas adalah pilihan bijak untuk keberlanjutan.

Bab 5

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Indonesia

5.1 Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi teknis energi angin yang cukup besar. Letaknya yang berada di sekitar garis khatulistiwa merupakan tempat bertemunya Hadley, Walker dan sirkulasi lokal. Negara dengan kepulauan yang 2/3 wilayahnya merupakan lautan dan memiliki garis pantai terpanjang di dunia yaitu $\pm 80.791,42$ Km

Tercatat total potensi angin sebesar 155 GW, terdiri dari 94,2 GW di lepas pantai dan 60,6 GW di darat dari data Kementerian ESDM. Sampai saat ini penggunaan energi angin baru mencapai 131 MW atau setara dengan sekitar 0,1% dari potensi yang ada. Melalui RUPTL Hijau, pemerintah mencanangkan pengembangan energi angin berkapasitas terpasang hingga 597 MW pada tahun 2030.

Ketersediaan angin sebagai sumber energi di alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik. Sebagai sumber energi yang tak ada habisnya

sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan.

Meningkatnya penggunaan energi listrik berdampak pada bertambahnya krisis energi yang terjadi di Indonesia. Selama ini penggunaan energi listrik masih didominasi konsumsi rumah tangga dan sebagian lagi di industri. Kebutuhan akan penggunaan listrik menjadi masalah jika penyediaan energi listrik tidak sejalan.

5.2 Energi Angin

5.2.1 Karakteristik angin

Energi angin memutar turbin angin / kincir angin. Turbin angin yang berputar juga menyebabkan berputarnya rotor generator karena satu poros sehingga dapat menghasilkan energi listrik.

(B. et al., 2022)Energi angin sangat bergantung pada kecepatan angin. Energi sebenarnya yang terkandung dalam angin bervariasi menurut kekuatan dan kecepatan angin. Kecepatan dan energi angin dua kali lipat jumlah yang dibawanya dikalikan delapan.

Tabel 5.1: Pengukuran kecepatan angin menggunakan skala beaufort Sumber: (Abdy & Sanusi, 2020)

Skala Beaufort	Deskripsi	Kecepatan Angin (M/S)	Tinggi Gelombang (M)
1	Tenang	0 - 0,3	0
2	Sedikit Tenang	0,3 - 1,5	0 - 0,2
3	Hembusan Angin	1,5 - 3,3	0,2 - 0,5
4	Hembusan Angin Pelan	3,3 - 5,5	0,5 - 1
5	Hembusan Angin Sedang	5,5 - 8	1 - 2
6	Hembusan Angin Sejuk	8 - 10,8	2 - 3
7	Kuat	10,8 - 13,9	3 - 4
8	Mendekati Kencang	13,9 - 17,2	4 - 5,5
9	Kencang	17,2 - 20,7	5,5 - 7,5
10	Kencang Sekali	20,7 - 24,5	7,5 - 10
11	Badai	24,5 - 28,4	10 - 12,5
12	Badai Dasyat	28,4 - 32,6	12,5 - 16
13	Badai Topan	32,6 <	16 <

Skala Beaufort yang digunakan adalah skala 0 sampai dengan skala 9. Skala yang lebih dari 9 tidak digunakan karena kecepatan angin yang terbesar dari data adalah 23 m/detik.

5.2.2 Prinsip Energi Angin

Atmosfer menyerap 20 persen atau $20 \times [10]^6$ Watt dari sejumlah energi matahari yang diserap oleh bumi. Penyimpanan energi panas, yang diserap ini berubah menjadi energi konveksi ke atmosfer kemudian diubah menjadi energi kinetik. Sebesar $3,7 \times [10]^{14}$ Watt, energi yang ditimbulkan oleh konveksi arus gabungan lautan dan atmosfer yang diperkirakan oleh Hubber. Putman dalam Willet menyatakan energi angin dapat memberikan daya sebesar $2 \times [10]^{13}$ Watt. (Pudjanarsa & Nursuhud, 2012)

Tabel 5.2: Data tingkat potensi kecepatan angin di Indonesia Sumber: (Abdy & Sanusi, 2020)

Tingkat Potensi	Kecepatan angin pada ketinggian 50 m (m/detik)	WPD 50 m (W/m ²)	Jumlah lokasi	Provinsi
Rendah	3,0 - 4,0	< 75	84	Maluku, Papua, Sumba, Mentawai, Bengkulu, Jambi, NTT, NTB, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, Sumatera Barat, Jawa Tengah, Maluku, DIY, Lampung, Kalimantan
Sedang	4,0 - 5,0	75 - 150	34	Jawa Tengah, Jawa Barat, DIY, Bali, Bengkulu, NTT, NTB, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara
Baik	> 5,0	> 150	35	Banten, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Jawa Barat, DIY, NTT, NTB, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara Maluku



Gambar 5.1: Peta potensi penyebaran angin di Indonesia (B. et al., 2022)

1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB) merupakan pembangkit listrik yang dapat mengkonversi (mengubah) energi angin menjadi energi listrik.



Gambar 5.2: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

2. Potensi Pengembangan PLTB Indonesia,

Pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) mempunyai potensi yang cukup besar di Indonesia, karena negara ini memiliki banyak faktor alam yang mendukung pengembangan energi angin.

Berikut beberapa potensi PLTB di Indonesia:

a. Sumber daya angin yang melimpah:

Indonesia terletak di wilayah tropis yang terkenal memiliki angin yang cukup kencang dan konstan di sebagian besar wilayahnya. Angin ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan turbin angin.

b. Pantai Panjang:

Indonesia mempunyai garis pantai yang sangat panjang terutama di wilayah kepulauan. Kawasan ini memiliki potensi besar untuk pengembangan PLTB lepas pantai yang memanfaatkan angin laut yang kencang. Pulau dan pegunungan:

Kondisi wilayah Indonesia yang bergunung-gunung juga menciptakan kondisi yang menguntungkan bagi PLTB untuk berkembang di wilayah dataran tinggi dan dataran tinggi seperti Jawa Barat, Sulawesi, Sumatera, dan Papua.

c. Ketergantungan pada produksi energi fosil:

Indonesia masih sangat bergantung pada pembangkit listrik dari bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak. Hal ini menciptakan peluang besar untuk mendiversifikasi sumber energi dengan mengembangkan PLTB untuk mengurangi dampak lingkungan dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

d. Komitmen pemerintah:

Pemerintah Indonesia telah mengumumkan komitmennya untuk mengembangkan energi terbarukan, termasuk PLTB. Hal ini tercermin dari berbagai kebijakan, insentif, dan target yang ditujukan untuk memperkuat kapasitas PLTB di dalam negeri.

Penanaman Modal Asing:

Indonesia juga menarik minat investor asing untuk mengembangkan PLTB. Kemitraan dengan perusahaan asing dapat membantu percepatan pembangunan infrastruktur PLTB di dalam negeri.

e. Potensi energi mikrohidro:

Selain PLTB, Indonesia juga memiliki potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro, terutama di wilayah yang aliran sungainya deras dan melimpah. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat digunakan untuk menyediakan listrik ke daerah-daerah terpencil dan sulit dijangkau. Antara Lain:

- PLTB Sidrap, Sulawesi Selatan: PLTB Sidrap adalah salah satu PLTB terbesar di Indonesia dengan kapasitas sekitar 75 megawatt (MW). Terletak di Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan, PLTB ini telah beroperasi sejak 2018.
- PLTB Jeneponto, Sulawesi Selatan: Terletak di Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan, PLTB Jeneponto memiliki kapasitas sekitar 72 MW dan telah beroperasi sejak tahun 2018.
- PLTB Sidihoni, Sumatera Utara: PLTB Sidihoni terletak di Pulau Samosir, Danau Toba, Sumatera Utara. PLTB ini adalah yang pertama di Indonesia yang terletak di tengah danau, dan memiliki kapasitas sekitar 6 MW.
- PLTB Tanah Laut, Kalimantan Selatan: PLTB Tanah Laut terletak di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan, dan memiliki kapasitas sekitar 4.5 MW.
- PLTB Way Ratai, Lampung: PLTB Way Ratai terletak di Kabupaten Lampung Tengah, Lampung, dengan kapasitas sekitar 6 MW.
- PLTB Karamba, Sulawesi Tengah: PLTB Karamba adalah PLTB terapung pertama di Indonesia. Terletak di perairan Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah, dengan kapasitas sekitar 72 MW.
- PLTB Sorik Marapi, Sumatra Utara: PLTB Sorik Marapi terletak di Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara, dengan kapasitas sekitar 60 MW.
- PLTB Sidangoli, Nias: Terletak di Pulau Nias, Sumatera Utara, PLTB Sidangoli memiliki kapasitas sekitar 20 MW.

- PLTB Karimun Jawa, Jawa Tengah: Terletak di Kepulauan Karimun Jawa, Jawa Tengah, PLTB ini memiliki kapasitas sekitar 3.3 MW.
- PLTB Jeneponto II, Sulawesi Selatan: PLTB Jeneponto II adalah proyek pengembangan dari PLTB Jeneponto yang telah disebutkan sebelumnya. Dengan kapasitas sekitar 135 MW

5.3 Peluang dan Tantangan

Pengembangan PLTB di Indonesia masih menghadapi beberapa kendala teknis dan kendala keekonomian. Kendala teknis diantaranya adalah: rata-rata kecepatan angin di Indonesia yang di bawah 5 m/s, lokasi potensial berada di wilayah terpencil yang kebutuhan listrik di wilayah tersebut tidak begitu besar, dan kesediaan jaringan interkoneksi dengan pembangkit konvensional karena sifat PLTB yang intermiten [7]. Sedangkan kendala keekonomian terkait dengan kebijakan biaya pokok penyediaan (BPP) pembangkitan PT PLN [8]. Makalah ini akan membahas prospek dan kendala dalam pengembangan PLTB, terutama yang terkait dengan BPP pembangkitan.

Bab 6

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Matahari (PLTS) di Indonesia

6.1 Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga matahari (PLTS) merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. PLTS memanfaatkan energi matahari sebagai sumber listrik. Secara umum wilayah Indonesia yang melintasi garis khatulistiwa sangat berpotensi menghadirkan intensitas cahaya matahari relatif tinggi sepanjang tahun.

Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan pemanfaatan PLTS diantaranya; (1) Energi Bersih dan Terbarukan. Energi matahari menjadi sumber energi terbarukan dan berkelanjutan yang tersedia sepanjang masa. PLTS dalam penggunaannya menghasilkan energi listrik tidak menghasilkan polusi udara emisi gas rumah kaca. (2) Ketersediaan Global. Matahari merupakan sumber energi global yang sangat melimpah. Utamanya permukaan bumi yang dilintasi garis khatulistiwa. Intensitas matahari bervariasi di berbagai wilayah di permukaan bumi, tergantung pada posisi wilayah terhadap garis lintang. Perkembangan teknologi PLTS yang sangat pesat, sehingga teknologi PLTS

saat ini dapat menghasilkan listrik, meskipun di daerah yang intensitas sinar matahari rendah. (3) Skalabilitas. Pengaplikasian Teknologi PLTS dapat diinstal dalam skala yang bervariasi. Penggunaan instalasi rumah tangga skala kecil hingga PLTS skala sangat besar pada sistem komersial dan utilitas. (4) Pengurangan Ketergantungan pada Bahan Bakar Fosil. Penggunaan PLTS dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi risiko fluktuasi harga minyak dan gas. (5) Penciptaan Lapangan Kerja. Industri energi surya telah menciptakan lapangan kerja baru dalam bidang desain, manufaktur, instalasi, pemeliharaan, dan penelitian. (6) Pengembangan Teknologi. Penggunaan energi matahari mendorong pengembangan teknologi baru dalam hal efisiensi konversi, penyimpanan energi, dan integrasi ke dalam jaringan listrik. (7) Pengurangan Emisi Karbon. Penggunaan PLTS dapat membantu mengurangi emisi karbon secara signifikan, memberikan kontribusi positif terhadap upaya global dalam mengatasi perubahan iklim (ABB, 2014).

6.2 Perkembangan Teknologi PLTS

6.2.1 Prinsip Kerja PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem konversi energi yang mengubah energi foton pada sinar surya menjadi energi listrik. Sistem konversi ini tersusun dari sel surya pada modul fotovoltaik (PV). Sel surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis silikon dan bahan semi konduktor. Kombinasi ini yang mengesitasi elektron yang bergerak bebas dan menghasilkan tegangan listrik arus searah. Rangkaian 40 seri-paralel sel surya fotovoltaik menjadi fotovoltaik modul (PV modul). Rangkaian pv modul membentuk PV array (ABB, 2014)

Komponen utama pada PLTS diantaranya a) Modul fotovoltaik (PV), b) Solar charger controller, c) Inverter/charger, d) Penyangga PV Modul, e) Baterai, f) Combiner box, g) Solar/battery inverter, h) Panel distribusi, i) Kabel listrik, j) rumah pembangkit (power house), k) sistem pentanahan dan penangkal petir, i) energy limiter dan pyranometer.

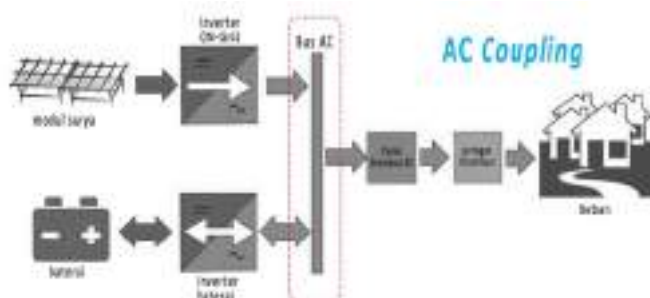
PLTS dikelompokkan atas tiga kelompok berdasarkan penerapannya yakni (1) sistem PLTS yang tidak terhubung jaringan (off-grid PV plant), atau PLTS

berdiri sendiri (stand alone), dan (2) Sistem PLTS terhubung jaringan (on-grid PV plant) atau PLTS grid-connected, serta (3) Sistem kombinasi jenis pembangkit listrik lain (hybrid system).

Bila ditinjau dari lokasi pemasangannya, PLTS terbagi dua, yakni; (1) sistem pola tersebar (distributed PV plant) dan (2) sistem pola terpusat (centralized PV plant)(ABB, 2014).

1. Sistem PLTS yang tidak terhubung jaringan (off-grid PV plant)

Konfigurasi kerja yang sering digunakan dalam off-grid terbagi atas dua sistem, antara lain; (1) Berbasis DC coupling dan (2) AC coupling. Sistem AC Coupling titik koneksi berada pada sisi AC. Inverter grid-tied / inverter on-grid (inverter yang terhubung ke jaringan AC) berfungsi menangani potensi energi yang terserap di modul surya melalui Maximum Power Point Tracking (MPPT). Keluaran dari inverter grid-tied terhubung melalui busbar ke sisi beban AC. Pada umumnya kasus sisi beban AC dipisah antara beban AC reguler dan beban AC kritis. Beban AC kritis adalah beban-beban yang harus dipertahankan tetap menyala. Beban-beban AC kritis ini akan tetap teraliri listrik meski saat matahari tidak bersinar. Listrik pada sistem cadangan AC Coupling bersumber dari baterai dan inverter baterai yang mengambil alih operasi ke jaringan (grid) pada saat jaringan kehilangan daya.

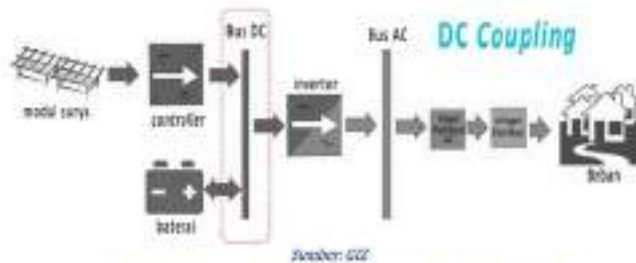


Gambar 6.1: Diagram Sistem PLTS off-grid tipe AC Coupling (ABB, 2014)

Energi yang diserap modul surya dari matahari pertama sekali arahkan ke beban AC kritis melalui inverter grid-tied, lalu ke baterai

melewati inverter baterai. Inverter baterai berfungsi sebagai charging untuk baterai. Sedangkan inverter baterai pada aplikasi AC Coupling memiliki peran 2 dua arah, diantaranya; (1) sebagai rectifier dengan melakukan charging baterai (AC ke DC), (2) sebagai inverter untuk baterai (DC ke AC). Bila PLTS kehilangan suplai energi matahari, inverter baterai akan memutus inverter grid-tied dari sistem kelistrikan. Kemudian inverter baterai mensinkronisasi dengan menyediakan tegangan listrik AC (ABB, 2014).

DC Coupling terhubung ke sisi arus searah (DC) pada sistem kelistrikan PLTS off- grid. Charge controller berfungsi mengontrol energi surya yang terserap oleh array modul surya menggunakan MPPT. Energi yang keluar dari charge controller terhubung busbar DC ke sistem baterai untuk menyimpan energi. Baterai terhubung inverter untuk mengkonversi arus searah (DC) ke arus bolak-balik (AC). Arus AC dialirkan dari inverter ke beban AC (ABB, 2014) Lihat gambar berikut.



Gambar 2. Diagram Sistem PLTS off-grid tipe DC Coupling

Gambar 6.2: Diagram Sistem PLTS off-grid tipe DC Coupling
(ABB, 2014)

2. Grid-Connected Centralized PV

Grid-connected pv atau sistem PLTS on-grid menyuplai tenaga listrik terpusat. Suplai listrik dialirkan ke jaringan listrik PLN. Sistem PLTS on-grid sesuai digunakan untuk pembangkitan daya listrik yang besar ke jaringan listrik sistem tegangan menengah, maupun tegangan tinggi. Konsekuensidari lokasi yang terpusat, sehingga rugi-rugi daya pada sisi pembangkitan lebih kecil dibandingkan pola tersebar.

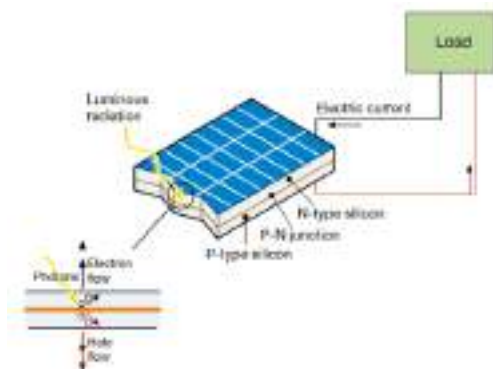
Meskipun penyaluran pada jaringan PLN menuju beban tetap mengalami kerugian penyaluran. Kontrol dan monitoring PLTS lebih baik karena masih terkonsentrasi pada lokasi tertentu (ABB, 2014).

3. Grid-Connected Distributed PV

Grid-connected distributed pv atau sistem PLTS on-grid menyediakan daya listrik kepada konsumen menggunakan jaringan. Setiap rumah memiliki PLTS sebagai sumber tenaga listrik, tetapi masih terhubung dan mendapatkan suplai listrik dari jaringan PLN. Masing-masing rumah menghasilkan energi listrik oleh PLTS yang berdekatan dengan lokasi beban listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS memiliki nilai lebih tinggi daripada listrik yang dihasilkan oleh PLN (ABB, 2014).

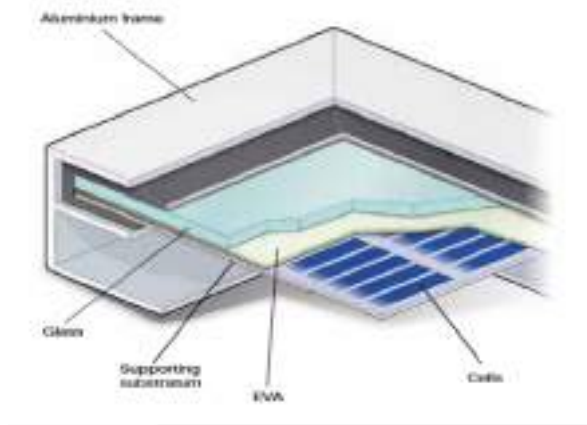
6.2.2 Potovoltaik

Photovoltaik sebagai instrumen utama dalam mengkonversi energi matahari ke energi listrik. Sumber energi baru terbarukan yang dapat menghasilkan energi listrik tanpa menghasilkan polusi dan tidak merusak lingkungan. Prinsip kerja photovoltaik menyerupai piranti semikonduktor dioda p-n junction yang mempunyai 2 buah bahan semikonduktor, tipe-p dan tipe-n. Photo-electric effect dari bahan semikonduktor yang terbuat dari silikon (Si) dan Germanium (Ge), dapat mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah. Sinar matahari yang menerpa photovoltaik akan menimbulkan elektron dan hole. Elektron-elektron dan hole-hole yang timbul di sekitar pn junction bergerak menuju lapisan n dan lapisan p. Pergerakan elektron-elektron dan holehole yang melintasi pn junction yang mengakibatkan timbulnya beda potensial pada kedua kutub photovoltaik. Bila kedua kutub photovoltaic memperoleh beban maka muncul arus listrik yang mengalir ke beban (ABB, 2014). Lihat gambar berikut



Gambar 6.3: Bagaimana sel surya bekerja (ABB, 2014)

Ketika sel terpapar cahaya matahari, akibat fotovoltaiik berakibat beberapa pasangan elektron-hole muncul di area n serta area p. Medan listrik internal kelebihan elektron (berasal dari serapan foton material) untuk dipisahkan dari hole dan mendorongnya ke arah berlawanan satu sama lain. Setelah elektron melewati area penipisan. Elektron tidak dapat bergerak kembali. Sambungan dengan konduktor luar, akan diperoleh rangkaian tertutup di mana arus mengalir dari lapisan P yang mempunyai potensial lebih tinggi ke lapisan N. Lapisan P yang mempunyai potensial lebih tinggi ke lapisan N, selama sel menyala.



Gambar 6.4: Penampang modul standar dalam silikon kristal (ABB, 2014)

Gambar di atas menunjukkan luas penampang suatu standar modul dalam silikon kristal, terbuat dari; a) lembaran pelindung pada sisi atas yang terkena cahaya, b) ditandai dengan transparansi tinggi (yang paling banyak digunakan adalah kaca tempered). c) bahan enkapsulasi untuk menghindari kontak langsung antara kaca dan sel, untuk menghilangkan celah yang memungkinkan ketidaksempurnaan sel dan secara elektrik isolasi sel dari sisa panel; d) proses yang memerlukan fase laminasi, sering menggunakan Ethylene Vinyl Acetate (EVA), e) substrat penyangga belakang (kaca, logam, plastik), f) kerangka logam, biasanya terbuat dari aluminium. g) menghubungkan sel, dalam modul silikon kristal, logam-kontak, modul film tipis sambungan listrik adalah bagian dari proses pembuatan sel dan dijamin oleh lapisan oksida logam transparan, seperti seperti seng oksida atau timah oksida (ABB, 2014).

1. Parameter Pemasangan Photovoltaik

Faktor pengoperasian maksimum solar cell sangat tergantung pada; a) Temperatur Ambient, b) Radiasi solar matahari, c) Kecepatan angin bertiup, d) Keadaan atmosfer bumi, e) Orientasi panel atau array PV, f) Posisi letak sel surya (array) terhadap matahari (Sunaryo, 2014).

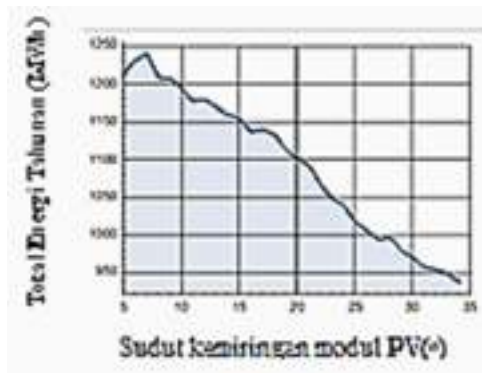
Penyerapan energi matahari maksimum dapat dilakukan dengan sistem kontrol pelacakan matahari. Penerapan sistem kontrol pelacakan matahari melibatkan algoritma deteksi matahari dengan penggerak hidrolika. sistem ini cukup efisien dalam pengaplikasian PLTS (Metwally et al., 2021).

Satybaldiyeva telah meneliti model yang dapat diterapkan untuk menstabilkan panel dengan mekanisme berputar telah diuji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelacakan matahari dengan model sistem dua sumbu telah meningkat daya total 1,5%. (F.Satybaldiyeva, R.Beisembekova1 and G.Zh. Yessenbekova, 2021).

2. Sudut kemiringan optimal panel PV

Sudut kemiringan optimal panael PV akan ditentukan dengan mengambil energi tahunan efektif yang diterima modul sebagai fungsi tujuan. Untuk mencapai hal tersebut, perlu menghitung total radiasi matahari pada bidang miring. Pancaran sinar matahari dan penyebaran radiasi matahari pada bidang horizontal harus ditentukan

dengan mempertimbangkan kondisi iklim lokasi yang dipilih untuk melakukan penelitian.



Gambar 6.5: Maksimalisasi Energi Tahunan Matahari Yang Efektif Terhadap Modul PV(Barbon, 2022)

Dari Gambar.... Barbon memperoleh sudut kemiringan (θ) menghasilkan jumlah energi tahunan (MWh) terbesar yang diterima oleh modul yang dikaji, sehingga sudut 7° menjadi sudut kemiringan optimal untuk modul yang kaji. Penerapan sudut kemiringan modul kurang dari sudut kemiringan optimal, akan memungkinkan penerimaan sejumlah besar energi total yang diterima dari sistem masih tinggi. Meskipun sudut kemiringan setiap modul saja tidak optimal, masih banyak lagi modul yang dapat dipasang dengan mempertimbangkan efek self-shading. Algoritma memungkinkan melakukan pencarian sudut kemiringan untuk susunan modul yang optimal (A. Barbón, M. Ghodbane, L. Bayón, 2022).

Penelitian yang dilakukan Maghrabie untuk memperpanjang usia pakai sel surya menjelaskan bahwa bahan perubahan fasa (PCM) sebagai salah satu bahan yang menjanjikan dalam sistem penyimpanan energi panas (TES). PCM yang umum diterapkan memiliki konduktivitas termal yang lemah. NePCM mampu meningkatkan konduktivitas termal yang relatif tinggi untuk komposit PCM menggunakan berbagai nanopartikel. Bahan perubahan fasa nano-enhanced (NePCM) menjadi solusi yang menggembarakan untuk mengatur suhu PV sehingga dapat

memperpanjang masa pakai fotovoltaik yang digunakan (Maghrabie et al., 2022).

Penentuan kondisi sebuah sel surya digunakan istilah efisiensi. Menentukan nilai efisiensi ini menggunakan rumus yang ada dengan berbagai persyaratan dan dihitung dalam persen (%). Secara sederhana efisiensi adalah perbandingan energi listrik yang dihasilkan dari suatu sel surya terhadap energi sinar matahari yang mengenai permukaan sel surya tersebut. Berdasarkan jenis bahanya PV dibagi menjadi dua, yakni; (1) Crystalline silicon dan (2) Thin film. Crystalline silicon terdiri dua varian, yakni (1) Monocrystalline silicon (m-Si) dan (2) Poly crystalline Silicon (p-Si). Sedangkan thin Film terdiri atas tiga varian, yakni; (1) Amorphous Silicon (a-Si), (2) Cadmium Telluride (CdTe) dan (3) Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) (ABB, 2014).

3. Potovoltaik Polikristal (Poly-crystalline)

Panel surya polikristal memiliki susunan kristal acak. Proses pabrikan menggunakan proses pengecoran. Type polikristal membutuhkan penampang yang lebih luas dibandingkan jenis monokristal untuk menghasilkan energi listrik yang sama. Panel surya polikristal memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan type monokristal. Demikian pula harganya relatif lebih murah.



Gambar 6.7: PV jenis polikristal (ABB, 2014)

4. Potovoltaik Monokristal (Mono-crystalline)

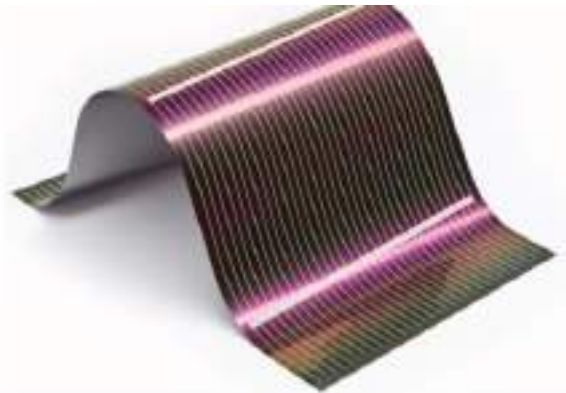
Panel surya monokristal yang paling efisien dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Tipe ini memiliki efisiensi hingga 15%. Kelemahan panel surya monokristal tidak bekerja optimal pada intensitas matahari yang rendah. Pada cuaca berawan, efisiensi sel surya turun drastis (ABB, 2014).



Gambar 6.8: PV jenis monokristal (ABB, 2014)

5. Potovoltaik Thin Film Solar Cell (TFSC)

Jenis sel surya Thin Film Solar Cell (TFSC) diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karena sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic).



Gambar 6.9: PV jenis thin film (Kurniawan, 2016)

6. Potovoltaik Amorf (Amorphous)

Modul sel varian silikon Amorf (a-Si) telah diaplikasikan bahan sel photovoltaik pada kalkulator. Kinerja modul sel jenis silikon Amorf (a-Si) relatif lebih rendah. Teknologi modul sel jenis silikon Amorf (a-Si) terkini dengan perbaikan konstruksi telah membuat modul sel jenis silikon Amorf lebih menarik untuk diaplikasikan. Efisiensi yang lebih tinggi dapat dicapai dengan menyusun kombinasi sel tipis-film secara berlapis. Masing-masing sel tipis-film bekerja dengan baik pada frekuensi cahaya tertentu. Metode ini tidak tidak efektif pada c-sel Si, dengan teknik konstruksi yang tebal. Lapisan yang buram menghalangi cahaya mencapai lapisan lain dalam kombinasi lapisan sel surya. Pembuatan sel surya tipe a-Si yang produksi skala besar tidak efisien. silikon Amorf (a-Si) menggunakan 1% dari silikon yang dibutuhkan untuk sel c-Si. Biaya silikon menjadi faktor dominan dalam pembiayaan pembuatan sel surya (Kurniawan, 2016).

7. Potovoltaik Cadmium Telluride (CdTe)

Sel surya CdTe mengandung bahan Cadmium Telluride. Efisiensi Sel surya CdTe lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon, mencapai 9% - 11%. CdTe heterostruktur film tipis (HS) merupakan komponen penting sel surya modern. Metode pembuatan dan pembentukannya sederhana HS, yang tidak memerlukan peralatan rumit dan mahal, menjadi keunggulan penting sel surya berbasis CdTe teknologi (Mazur et al., 2021).

8. Potovoltaik Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)

Potovoltaik Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) bila dibandingkan kedua jenis sel surya thin film varian lain, memiliki efisiensi paling tinggi. Efisiensinya dapat mencapai 10% hingga 12%. Keunggulan jenis ini modul PV ini adalah tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe (Kurniawan, 2016).

6.3 Peluang dan Tantangan PLTS di Indonesia

6.3.1 Peluang PLTS di Indonesia

Pada Indonesian Solar Summit 2023, Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral mengungkapkan potensi sumber energi surya yang dimiliki Indonesia lebih dari 3.200 Giga Watt (GW). Namun penyerapannya masih 200 MWp. (esdm.go.id, 2020). International Energy Agency (IEA) memprediksi kapasitas energi terbarukan tahun 2023 sekitar 440 GWp menjadi 550 GWp pada tahun 2024. Dua pertiga energi tersebut bersumber dari PLTS. RMI & Bezos Earth Fund menyatakan bahwa secara global PLTS tumbuh 24% per tahun selama lima tahun terakhir. Pertumbuhan akan mencapai lebih dari 1000 GWp setiap tahun pada (esdm.go.id, 2023).

1. Potensi Energi Surya di Indonesia

Ditinjau dari koordinat batas wilayah Indonesia meliputi; a) Garis Lintang Utara , sekitar 6° LU (dekat Pulau Miangas, wilayah Sulawesi Utara). b) Garis Lintang Selatan , sekitar 11° LS (dekat Pulau Rote, wilayah Nusa Tenggara Timur). c) Garis Bujur Barat, sekitar 95° BT (dekat Pulau Sabang, wilayah Aceh). d) Garis Bujur Timur, sekitar 141° BT (dekat Pulau Dana, wilayah Papua) (ABB, 2014). Energi matahari di Indonesia sangat besar. Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik. Sebaran intensitas energi matahari Indonesia terpetakan sebagai berikut.

Secara geografis Indonesia terletak di daerah tropis serta dilintasi garis khatulistiwa. Intensitas radiasi matahari sekitar 4,66-5,54 kWh/m² per hari. Intensitas radiasi di Indonesia relatif lebih tinggi dibandingkan permukaan lain di muka bumi.

Data penyinaran matahari di Indonesia ditinjau dari 18 lokasi, dapat dikelompokkan menjadi dua kawasan, diantaranya; a) Kawasan Barat Indonesia, radiasi matahari sebesar 4,5 kWh/m²/hari, variasi bulanan 10%. b) Kawasan Timur Indonesia, radiasi matahari sebesar 5,1 kWh/m²/hari, variasi bulanan 9%. Ketersediaan radiasi matahari lebih tinggi dan lebih stabil sepanjang tahun di Kawasan Timur

Indonesia dibandingkan di Kawasan Barat Indonesia (Kurniawan, 2016). Hal ini menunjukkan peluang yang cukup besar menerapkan PLTS di Indonesia.



Gambar 6.10: Intensitas Radiasi Matahari Indonesia (Kurniawan, 2016)

2. Peluang PLTS di Indonesia

Indonesia sangat berpeluang mengembangkan PLTS sebagai pilar bauran energi baru terbarukan. Hal ini dapat dilihat dari faktor-faktor pendukung berikut; (1) Ketersediaan sumber daya mineral sebagai bahan baku industri PLTS, (2) Suasana kondusif bagi investor dalam pengembangan industri hulu hingga industri hilir nasional, (3) Berkembang pesatnya teknologi PV yang efisien dan kompetitif, (4) Biaya PV yang mengalami kecenderungan semakin murah hingga 5 sen setiap kWh, (5) Bonus demografi yang mendukung pengembangan SDM yang ahli dan terlatih, (6) Adanya standar penjaminan mutu produk PV yang digunakan di Indonesia.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah menerbitkan regulasi teknis berbasis Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk produk modul PV. Peraturan Menteri (Permen) ESDM Nomor 2 Tahun 2021 tentang Penerapan Standar Kualitas Modul PV Silikon Kristalin. Kehadiran SNI PV akan menjamin kualitas PV yang beredar di Indonesia. SNI adopsi dari standar internasional IEC 61215. SNI PV akan meningkatkan daya saing PV produk lokal di

pasar global. Dukungan regulasi yang menopang atmosfer industri PLTS, baik ditingkat nasional maupun regional (esdm.go.id, 2023).

Institute for Essential Services Reform merekomendasikan akselerasi pengembangan PLTS di Indonesia, diantaranya; (1) Kemauan politik dan kepemimpinan yang kuat dan aktif dari pemerintah serta penerapan kebijakan dan regulasi yang transparan dan berkelanjutan. (2) Pengembangan ekosistem terpadu, meliputi penentuan standar kualitas dan jaminan PV, memastikan sumber daya manusia yang berkualitas dan terlatih, adanya insentif bagi PLTS dan industri, mekanisme manufaktur efisien dan kompetitif, penyediaan jasa dan konsumen, kesadaran masyarakat dalam memilih energi bersih, penguatan sistem kelistrikan dan kemampuan PLN untuk menjadi ekosistem tersebut dan menjadi mitra setara. (3) Pentingnya mendorong pertumbuhan industri manufaktur panel surya yang terintegrasi dan kompetitif (IESR, 2023).

Pada Asean Indo-Pacific Forum 2023, Direktur Utama PT PLN (Persero) menyatakan, harga listrik dari energi terbarukan cenderung mengalami penurunan. Biaya produksi dari PLTS mencapai 5 sen/kwh PLTS memiliki potensi yang sangat besar sebagai pilar utama transisi energi nasional menuju sistem energi bauran yang berkelanjutan.

6.3.2 Tantangan PLTS di Indonesia

Pengembangan PLTS di Indonesia tidak terlepas dari tantangan, baik yang bersifat internal maupun eksternal. Beberapa tantangan dalam pengembangan dan pemanfaatan PLTS, diantaranya; (1) Biaya pengadaan PLTS dan piranti pendukungnya belum mampu bersaing dengan pembangkit listrik lainnya, (2) Terbatas penyimpanan energi listrik pada malam hari atau cuaca buruk, (3) Sistem integrasi jaringan ke infrastruktur listrik yang sudah ada, (4) Belum adanya regulasi izin pemasangan instalasi PLTS yang belum cepat, mudah dan murah, (5) Belum adanya regulasi kolaborasi saling menguntungkan antara pengguna PLTS secara individu (skala kecil), perusahaan (skala besar) dan pihak pemerintah (PLN) dalam penyerapan, pengontrolan dan pendistribusian energi listrik, (6) belum adanya sistem daur ulang PLTS yang murah dan tidak mencemari lingkungan Kebijakan yang mendasar dan mendesak untuk

diimplementasikan sebagai kebijakan pemerintah adalah; Perlunya insentif feed – in tariff (FIT), (2) Perlunya kebijakan Power Purchase Agreement di mana konsumen industri dapat memiliki kontrak pembelian listrik secara langsung dengan pengembang energi surya dan menggunakan transmisi PLN untuk evakuasi daya (IESR, 2023).

Secara teknologi, industri PLTS di Indonesia masih pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel suryanya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS (esdm.go.id, 2023). Dengan sasaran emisi Net-Zero, teknologi fotovoltaik (PV) berkembang pesat dan instalasi global meningkat secara eksponensial. Sementara itu, dunia sedang menghadapi lonjakan jumlah panel surya PV yang sudah habis masa pakainya (EOL). Umumnya menggunakan panel PV silikon kristalin (c-Si). Mendaur ulang panel surya PV EOL untuk digunakan kembali menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan keuntungan ekonomi dan lingkungan. Studi teknologi daur ulang terbaru masih berada pada tahap percobaan, dan masalah biaya tinggi, nilai daur ulang yang rendah, dan polusi sekunder biasanya diabaikan. Saat ini dibutuhkan pengembangan sistem teknologi daur ulang yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Secara sistematis teknologi daur ulang modul panel PV EOL c-Si dibagi atas tiga parameter; (1) pembongkaran modul, (2) delaminasi modul, (3) daur ulang dan penggunaan kembali material (Guo et al., 2022)

Kebijakan yang mendasar dan mendesak untuk diimplementasikan sebagai kebijakan pemerintah adalah; Perlunya insentif feed – in tariff (FIT), (2) Perlunya kebijakan Power Purchase Agreement di mana konsumen industri dapat memiliki kontrak pembelian listrik secara langsung dengan pengembang energi surya dan menggunakan transmisi PLN untuk evakuasi daya (IESR, 2023).

6.4 Penerapan PLTS di Indonesia

IEA dan Kementerian ESDM pada Roadmap NZE Indonesia memprediksi 65 GWp PLTS di 2030, dan 340 GWp di 2050. Studi IESR pada 2021, menyatakan bahwa dekarbonisasi yang sesuai target reduksi 1,5 Karbon.

Penggunaan PLTS diperkirakan 115 GWp di 2030 dan 1492 GWp di 2050 (esdm.go.id, 2023).

6.4.1 PLTS Atap

Indonesia memiliki potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap yang cukup besar, sekitar 32,5 Gigawattpeak. Sementara potensi yang dimanfaatkan tahun 2021 masih 31,32 Megawattpeak. Pada tahun 2021, PLTS atap sebesar 3.781 pelanggan. Pemanfaatan PLTS Atap tahun 2018 sebesar 592 pelanggan. Fenomena ini menunjukkan lonjakan pengguna PLTS atap yang relatif tinggi.

Teknologi PLTS atap yang umum digunakan adalah PV crystalline. Efisiensi PV crystalline secara teoritis termodinamik sebesar 30%. Secara praktis di lapangan mencapai 27%. Capaian ini sangat menjanjikan sebagai type PV yang dominan digunakan di masyarakat (esdm.go.id, 2023).

Direktur Jenderal, Energi Baru Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE) menyatakan bahwa animo masyarakat kepada PLTS Atap yang cukup tinggi, akan menurunkan konsumsi sumber energi fosil, batubara di Indonesia. Implikasinya pada pengurangan konsumsi batubara sebesar 3 juta ton per tahun (esdm.go.id, 2023).

International Renewable Energy (IRENA), menyatakan bahwa penggunaan energi bersih pada PLTS, berpotensi menciptakan lapangan kerja sebanyak 121.500 orang tenaga kerja, penggerak ekonomi, mereduksi potensi gas rumah kaca sebanyak 5,4 juta ton CO₂ (esdm.go.id, 2023).

Rasio elektrifikasi di Indonesia 55-60%. Dominan pedesaan yang jauh dari pusat pembangkit listrik yang belum teraliri listrik. Pembangunan PLTS atap menjadi alternatif sangat tepat bagi daerah tersebut. Tahun 2005-2025, pemerintah akan menyediakan 1 juta PLTS atap berkapasitas 50 Wp penduduk berpendapatan rendah serta 346,5 MWp PLTS hibrid bagi wilayah terpencil (esdm.go.id, 2020).

6.4.2 PLTS Irigasi

Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat digunakan sebagai sumber listrik pompa penyuplai air irigasi lahan pertanian. Sebelumnya, petani masih menggunakan sawah tadah hujan, sehingga pada musim kemarau aktivitas pertanian terhambat. Target panen hanya sekali setahun. PLTS irigasi model

solar rooftop sangat meringankan petani dalam penyediaan air yang murah. PLTS irigasi model solar rooftop membutuhkan biaya lahan, karena dipasang di lahan umum, seperti di atas jembatan (esdm.go.id, 2023).



Gambar 6. 11: PLTS di atas jembatan desa yang menyuplai listrik untuk kebutuhan pertanian (esdm.go.id, 2023)

Type Pompa submersible yang digunakan dengan kapasitas 30 liter/detik serta head mencapai 30 meter kolom air. Penggunaan 60 panel PV polycrystalline berkapasitas masing-masing 275 Watt peak telah mampu mengalirkan air sungai Enim sejauh 1 km ke penampungan yang berdimensi 3x3x2 m³. Volume yang sangat memadai untuk didistribusikan ke persawahan yang digarap 100 petani (esdm.go.id, 2023).

6.4.3 PLTS Waduk

PLTS terapung memanfaatkan lokasi di atas permukaan air waduk. Keunggulan PLTS terapung diantaranya; (1) lebih ramah lingkungan (2) tidak membutuhkan pembebasan lahan (3) daya yang dihasilkan relatif lebih besar dibanding di darat (4) mengurangi evaporasi yang berpengaruh pada debit air waduk untuk PLTA. Bila 5 % dari luas waduk yang dimanfaatkan di Indonesia, diperkirakan potensi energi yang dihasilkan sebesar 4,3 GWp (esdm.go.id, 2023).

6.4.4 PLTS Skala Besar

Di wilayah Waduk Cirata ini, juga akan dibangun PLTS Terapung 145 MW yang tersambung ke transmisi 150 kV. Luas area yang dimanfaatkan mencapai 200 hektar dengan perkiraan produksi energi sebesar 350 GWh per tahun. PLTS Apung terbesar se-Asia Tenggara (esdm.go.id, 2023).



Gambar 6.12: PLTS 5 Megawatt peak Sambelia di Lombok (esdm.go.id).

PLTS di Likupang Sulawesi Utara memiliki 64.620 panel surya. Panel surya terhampar di lahan seluas 29 Ha. PLTS Likupang mampu menghasilkan listrik 15 MW per hari (esdm.go.id, 2023). PLTS Waduk Cirata Jawa Barat . PLTS terapung pertama di Indonesia. Kapasitas 145 MWp. PLTS Oelpuah berkapasitas 5 MWp. PLTS memanfaatkan lahan 7,5 Ha. PLTS Coca Cola Amatil di Cikarang Barat. LTS atap terbesar di Asean (esdm.go.id, 2023).

Bab 7

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Di Indonesia

7.1 Pendahuluan

7.1.1 Latar Belakang

Sumber energi panas bumi dapat ditemukan di mana saja di bumi ini sedangkan sistem pembangkit listrik dapat digerakkan uap panas bumi yang relatif sedikit ditemukan, dibelahan bumi ini (R.DiPippo, 2005). Pemanfaatan uap panas bumi bagi sebagai sumber energi listrik dimulai awal abad ke-20, dengan dilakukan pembangunan eksperimental yang pertama dibangun di Larderello, Italia, pada tahun 1904. Dalam tiga dekade terakhir pada tahun 2011, sekitar 11 GW kapasitas tenaga panas bumi telah dibangun ke seluruh dunia. Namun, listrik yang diproduksi dari sumber panas bumi hanya mewakili 0,3 persen dari total pembangkit listrik yang ada di dunia.

Ketersediaan sumber energi panas bumi yang dapat dieksploitasi jauh lebih besar daripada pemanfaatannya saat ini, dan panas bumi memiliki peran sangat penting dalam sistem energi terbarukan di banyak negara. Diperkirakan bahwa

hampir 40 negara di seluruh dunia memiliki potensi panas bumi yang cukup yang dapat, dari perspektif sumber daya terbarukan sehingga mampu memenuhi seluruh permintaan listrik mereka. Dari sumber daya panas bumi telah diidentifikasi di hampir 90 negara dan lebih dari 70 negara sudah memiliki pengalaman dalam pemanfaatan sumber panas bumi. Era ini, listrik dari pemanfaatan sumber panas bumi diproduksi di 24 negara. Amerika Serikat dan Filipina memiliki kapasitas terpasang terbesar dari tenaga panas bumi, masing-masing sekitar 3.000 dan 1.900 MW. Islandia dan El Salvador menghasilkan sebanyak 25 persen tenaga listriknya berasal dari sumber panas bumi.

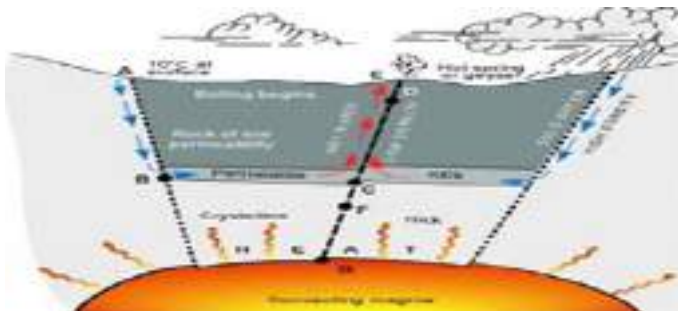
Energi panas bumi mempunyai banyak kualitas menarik yang berasal dari sifatnya yang terbarukan dan bebas bahan bakar fosil, serta kemampuan untuk menyediakan daya beban dasar yang stabil dan andal dengan biaya produksi yang cenderung rendah. Setelah stasiun listrik tenaga panas bumi beroperasi, maka akan dihasilkan output listrik yang stabil sepanjang waktu, biasanya selama beberapa dekade, dengan biaya yang bersaing dengan pilihan pembangkitan beban dasar lainnya, seperti batu bara. Risiko teknologi yang terlibat relatif rendah; pembangkit listrik tenaga panas bumi dari sumber daya hidrotermal bersumber dari bawah tanah yang merupakan cairan panas atau uap yang dapat diekstraksi. Untuk pembangkit berukuran sedang (sekitar 50 MW), penghasilan dari biaya energi listrik yang dihasilkan antara US \$0,04 dan 0,10 \$ per kWh, dengan menawarkan potensi operasi daya yang efisien secara ekonomi. Pengembangan sumber daya energi terbarukan dalam negeri dapat memberikan suatu alternatif sumber pasokan listrik dan untuk mengurangi risiko kenaikan harga di masa depan karena meningkatnya biaya bahan bakar.

Dari perspektif lingkungan global, pemanfaatan perkembangan energi panas bumi tidak dapat diperdebatkan. Emisi karbon dioksida (CO₂) diproduksi dari pembangkit listrik tenaga panas bumi, meskipun tidak selalu nol namun lebih rendah dibandingkan emisi karbon yang dihasilkan oleh stasiun listrik yang menggunakan bahan bakar fosil. Dampak lingkungan lokal dari akibat penggantian bahan bakar fosil dengan tenaga panas bumi cenderung positif pada keseimbangan terutama karena dampak pembakaran bahan bakar yang berakibat terhadap kualitas udara dan bahaya transportasi. Tentu saja, seperti halnya pembangunan infrastruktur, pembangkit tenaga panas bumi juga memiliki dampak sosial, lingkungannya sendiri dan risiko yang mesti dikelola, kelompok yang terkena dampak tersebut harus dikonsultasikan selama

dilaksanakan persiapan dan pengembangan proyek. Dampak dari proyek pengembangan tenaga panas bumi biasanya sangat terlokalisasi; sedikit jika ada yang tidak dapat diubah; dan dalam banyak kasus langkah-langkah mitigasi dapat segera dilaksanakan sehingga yang lebih rinci tentang pro dan kontra pengembangan panas bumi mengungkapkan bahwa banyak keuntungan energi panas bumi memiliki keterbatasan. Misalnya, sementara sumber daya lahan dan ruang kurang menjadi kendala bagi tenaga panas bumi dalam mencapai skala yang dibutuhkan daripada kebanyakan teknologi pembangkit listrik lainnya, kapasitas maksimum pembangkit pada akhirnya dibatasi oleh kapasitas produksi panas reservoir. (Geothermal Book: Planning and Financing Power Generation, 2012).

7.1.2 Sistem Hidrothermal

Konstruksi panas bumi di Indonesia yakni sistem hidrothermal yang memiliki suhu yang tinggi yaitu di atas 225oC. ada beberapa yang memiliki suhu sedang yaitu diantara 150-225oC. Prinsip sistem panas bumi model hidrothermal terbentuk merupakan hasil proses perpindahan secara panas konveksi dan konduksi dari sumber panas ke lingkungan. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui rekahan batuan alam, maupun perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya sentuhan antara air dengan sumber panas. Perpindahan panas seperti konveksi terjadi akibat pengaruh gaya apung (bouyancy). Air cenderung untuk menuju ke bawah akibat gaya tarik gravitasi bumi, tetapi jika air tersebut berkontak dengan magma menimbulkan proses perpindahan panas mengakibatkan suhu air menjadi lebih tinggi dan air berubah menjadi uap kering. Keadaan ini disebabkan uap bersuhu lebih panas bergerak ke atas sedangkan uap air bersuhu lebih dingin bergerak turun ke bawah, terjadi sirkulasi air atau arus konveksi.



Gambar 7.1:Arus Sirkulasi Air

Terlihat indikasi panas bumi di permukaan bumi (geothermal surface manifestation) seperti sumur air panas, kolam lumpur panas (mud pools), geyser dan sejenis panas bumi lainnya, beberapa diantara indikasi tersebut, yaitu mata air panas dan kolam lumpur panas sering dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk mandi, berendam, mencuci, masak dan lain-lain menunjukkan bahwa adanya sistem panas bumi terletak di bawah permukaan bumi. Indikasi panas bumi di permukaan bumi terjadi akibat perambatan panas dari bawah permukaan bumi atau pengaruh adanya rekahan-rekahan batuan panas yang memungkinkan fluida panas bumi berupa uap dan air panas mengalir ke atas permukaan bumi.



Gambar 7.2: Manifestasi Panas Bumi Di Permukaan

7.1.3 Klasifikasi Sistem Hidrothermal

Berdasarkan berbagai fluida sumber panas bumi, utamanya bentuk fasanya, sistem panas bumi dibedakan menjadi dua sistem fasa yaitu sistem satu fasa atau dua fasa. Sistem dua fasa merupakan sistem terkandung dominan air atau sistem terkandung dominan uap. Sistem dominan uap merupakan sistem yang sangat sulit ditemukan di Indonesia karena wadah panas bumi terkandung fasa uap yang lebih banyak dibandingkan dengan fasa airnya. Umumnya belahan batu berisi oleh uap dan pori-pori batuan masih terkandung air. Wadah penghasil air panas kebanyakan berada jauh dalam perut bumi. Bagian bawah wadah terkandung banyak uap panas bumi. Sistem dominan air merupakan sistem panas bumi yang umum terdapat di dunia. Wadah memiliki kandungan air yang sangat banyak walaupun sering dilakukan pemanasan di bagian atas wadah hingga terbentuk lapisan penutup uap yang memiliki suhu dan tekanan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu wadah sumur minyak, wadah panas bumi mempunyai suhu sangat tinggi hingga 3500C.

Berdasarkan pada besarnya suhu, Hochstein (1990) sistem panas bumi dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Sistem panas bumi bersuhu rendah, merupakan sistem penampung yang memiliki fluida dengan suhu lebih kecil dari 1250C.
2. Sistem panas bumi bersuhu sedang, merupakan sistem penampung yang memiliki fluida bersuhu antara 1250C dan 2250C.
3. Sistem panas bersuhu tinggi, merupakan penampung yang memiliki fluida bersuhu di atas 2250C.

Kriteria sistem panas bumi dibuat berdasarkan nilai entalpi yaitu sistem entalpi rendah, sedang dan tinggi. Kriteria yang digunakan sebagai dasar pengelompokkan pada umumnya tidak berdasarkan pada nilai entalpi, tetapi berdasarkan pada suhu di mana entalpi adalah fungsi dari suhu. Pada tabel di bawah ini diperlihatkan persyaratan sistem panas bumi yang umum digunakan.

Tabel 7.1: Klasifikasi Sistem Panas Bumi

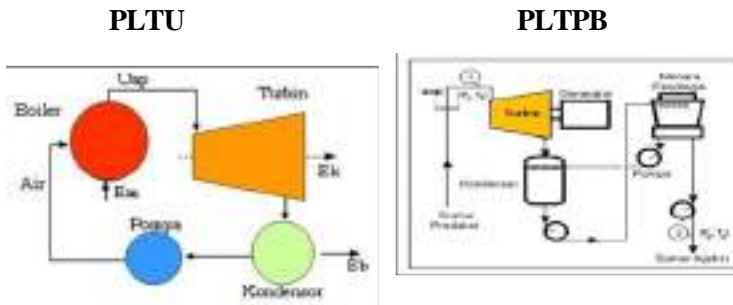
Klasifikasi sistim panas bumi	Muffer dan Cataldi (1978)	Benderiter dan Cormy (1990)	Haenel, Rybach dan Stegna (1988)	Hoches tein (1990)
Sistem panas bumi (entalpi rendah)	<90°C	<100°C	<150°C	<125°C
Sistem panas bumi (entalpi sedang)	90-150°C	100-200°C	-	125-225°C
Sistem panas bumi (entalpi tinggi)	>150°C	>200°C	>150°C	>225°C

7.2 Pembangkit Listrik Energi Panas Bumi

7.2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

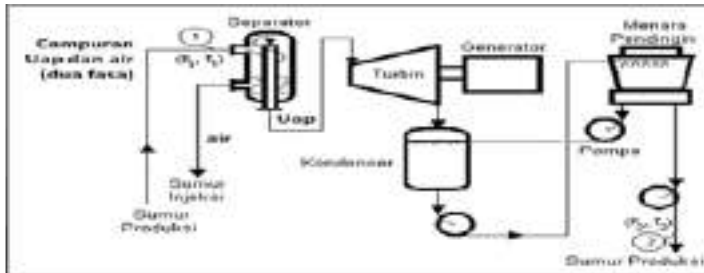
Indonesia berada kawasan lempeng api pasifik memiliki sumber panas bumi yang berlimpah. Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber panas bumi (geothermal) sebagai tenaga penggerak. (Carin, 2011).

Pada dasarnya kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) hampir sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), tetapi PLTU memakai boiler yang berbahan bakar fosil dalam memanaskan air untuk dijadikan uap, sedangkan PLTP, turbin yang digerakkan uap berasal dari sumur uap panas yang berkontak dengan magma. Jika fluida berada diujung sumur berupa uap panas bertekanan tinggi, maka uap tersebut langsung distribusikan ke turbin selanjutnya berubah menjadi tenaga mekanik penggerak turbin/generator menghasilkan daya listrik.



Gambar 7.3: Prinsip kerja PLTU dan PLTPB

Jika material panas bumi keluar dari ujung sumur merupakan campuran fluida yang memiliki dua fase yaitu fase uap dan fase cair maka terlebih dahulu perlu dilakukan proses pemisahan fase. Hal ini dilakukan dengan memasukkan fluida ke dalam alat pemisah, sehingga fase uap akan terpisah dari fase cairnya. Fase uap yang merupakan hasil dari separator inilah kemudian dipakai untuk memutar turbin.



Gambar 7.4: Prinsip kerja dari PLTP

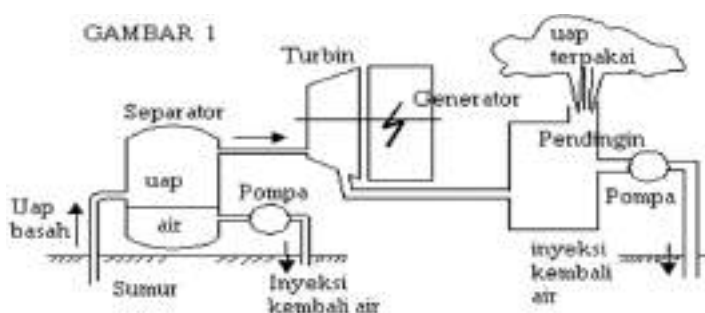
Apabila sumber panas bumi mempunyai suhu sedang maka fluida panas bumi masih dapat dipergunakan bagi pembangkit listrik yang menggunakan pembangkit listrik siklus biner (binary plant). Dalam siklus pembangkit ini, fluida sekunder seperti isobutane, isopentane dan ammonia dipanasi oleh fluida panas bumi melalui alat penukar kalor atau heat exchanger. Fluida sekunder menguap pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur titik didih air pada tekanan yang sama. Fluida sekunder mengalir ke turbin dan setelah dimanfaatkan lalu dikondensasikan agar fluida dapat dipanaskan lagi oleh magma. Siklus tertutup di mana fluida panas bumi tidak diambil massanya, tetapi hanya kalor saja yang diekstraksi oleh fluida kedua, sementara fluida dari menara pendingin diinjeksikan kembali ke sumur injeksi (reservoir).

7.3 Pengelompokkan Jenis Energi Panas Bumi

7.3.1 Energi Panas Bumi Sistem Uap Basah

Material panas bumi yang muncul dari perut bumi berupa uap kering yang langsung dipergunakan dalam menggerakkan turbin dan generator listrik. Proses tersebut merupakan pemanfaatan energi panas bumi ideal tetapi uap kering dimaksud tersebut masih sulit diperoleh di dunia termasuk Indonesia. Pada dasarnya uap yang diperoleh merupakan uap basah yang terkandung kadar air sehingga perlu dipisahkan terlebih dulu antara air dan uap, sebelum digunakan dalam ekspansi turbin. Uap basah sebelum dikeluarkan dari

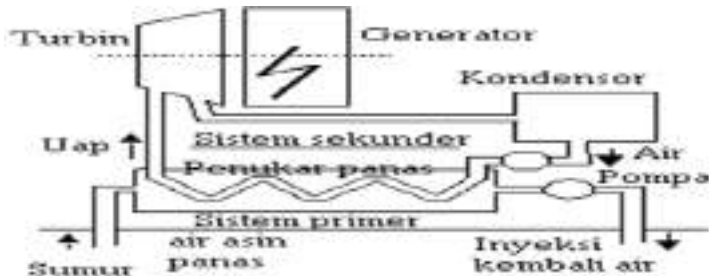
permukaan bumi, awalnya berupa air panas bertekanan tinggi kemudian dipisahkan agar kadarnya dimungkinkan berubah jadi kira-kira 20 % uap dan 80 % air. Dengan adanya jenis uap basah ini maka digunakan alat pemisah guna memisahkan antara uap dan air. Uap yang terpisah dari air dilanjutkan ke turbin sebagai energi mekanik penggerak generator listrik. Air sisa dari proses ekspansi, diinjeksikan lagi ke perut bumi agar keseimbangan air dalam tanah dapat terjaga. Prinsip kerja energi panas bumi sistem uap basah pada Gambar 7.5



Gambar 7.5: Prinsip kerja PLTP (Sistim Uap Basah)

7.3.2 Energi panas bumi sistem air panas

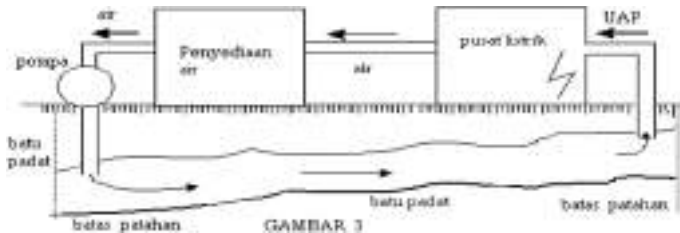
Pada dasarnya air panas bertekanan tinggi keluar dari perut bumi disebut "brine" mempunyai berbagai unsur mineral yang terkandung di dalamnya karena mempunyai kandungan mineral banyak, maka brin tersebut tidak dapat dimanfaatkan secara langsung karena dapat menyebabkan penyumbatan di jalur perpipaan. Jenis energi panas bumi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan sistem gabungan brin (dua buah sistem) yaitu tangki air panas sebagai alat penampung primer dan alat penampung sekunder sebagai alat pemanas (heat exchanger) membuat uap panas dihasilkan menjadi energi mekanik untuk menggerakkan turbin. Sistem ini memiliki biaya pembuatan awal lebih besar dibandingkan biaya pembuatan awal energi jenis panas bumi lainnya disebabkan oleh sifat korosif dari energi panas bumi (uap panas). Sistem prinsip kerja energi panas bumi sistem air panas pada Gambar 7.5.



Gambar 7.6: Prinsip kerja PLTP (Sistim Air Panas)

7.3.3 Energi Panas Bumi Rekahan Batuan Panas

Sumber energi panas bumi ini didapat dari rekahan batuan panas yang ada di dalam perut bumi diakibatkan kontak dengan magma. Energi panas diambil dengan mendistribusikan air ke salah rekahan batuan panas untuk dijadikan uap panas, selanjutnya uap panas dijadikan energi mekanik untuk menggerakkan turbin. Letak sumber energi batuan panas pada umumnya berada jauh kedalam bumi, sehingga dibutuhkan metode pengeboran khusus yang memerlukan biaya cukup tinggi untuk memanfaatkannya. Sistem proses energi panas bumi rekahan batuan panas pada Gambar 7.7.

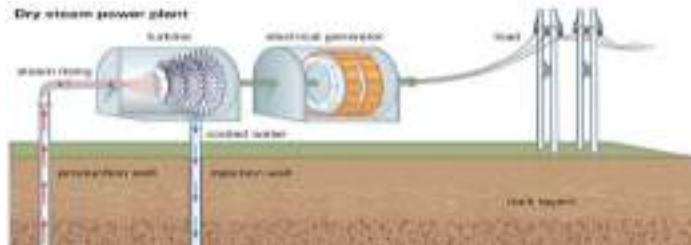


Gambar 7.7: Prinsip kerja PLTP (Sistem Rekahan Batuan Panas)

Secara keteknikan terdapat beberapa tipe sistem pembangkit daya geotermal yang diklasifikasikan menjadi delapan sistem sebagai berikut

1. Sistem Uap Flash Langsung

Proses kinerja dari sistem uap flash langsung seperti gambar 7.8 di bawah ini.

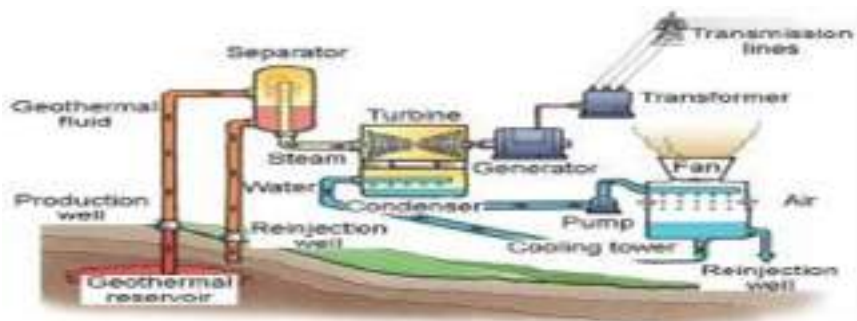


Gambar 7.8: Sistem Uap Flash (encylopedia britannica.inc)

Turbin/generator dengan menghubungkan langsung uap dari sumber panas bumi. Sisa air setelah melalui proses kondensator/penyaring dipompakan ke menara pendingin lalu dipompakan kembali agar bisa diinjeksikan kembali ke sumur injeksi dalam perut bumi. Contoh tipe-tipe yang telah menggunakan sistem ini seperti geyser Larderello, Monte Amiata (Italia), serta Matsukawa, Onikobe dan Kakkonda (Jepang).

2. Sistem Uap Flash Terpisah

Proses kerja dari sistem uap panas terpisah pada gambar 7.9 sebagai berikut.



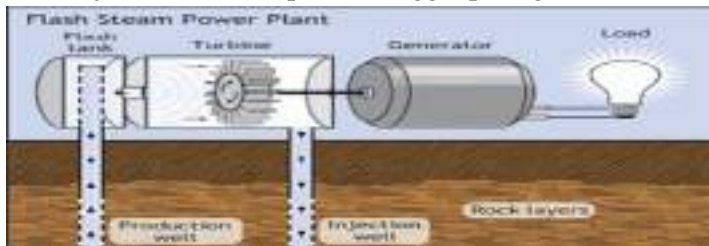
Gambar 7.9: Sistem Separated Steam (encylopedia britannica.inc)

Sistem ini mirip dengan sistem proses kerja sistem uap kering langsung, tetapi uap yang keluar dari sumur/bumi sebelum mencapai turbin uap harus melalui alat pemisah (separator) dulu, sisa fluida dalam alat pemisah (separator) dimasukkan lagi ke dalam perut bumi. Umumnya kondisi fluida dalam reservoir merupakan fluida cair yang ditekan pada temperatur yang sudah dipanaskan. Contoh Sistem ini

telah dipakai Cerro Prieto (Mexico) dan Ahuachapan Panzhetka (Rusia).

3. Sistem Uap Flash Tunggal

Proses kinerja dari sistem uap flash tunggal pada gambar 7.10.



Gambar 7.10: Sistem Uap Flash Tunggal (encyclopedia britannica.inc)

Pada sistem ini hampir sama dengan sistem proses kerja sistem uap terpisah, perbedaannya hanya pada penampung separator digantikan dengan flasher. Cairan panas dikeluarkan dari sumber geotermal (panas bumi) merupakan fluida (uap panas) bertekanan rendah (saturated liquid) berguna sebagai fluida kerja pada sistem uap flash tunggal.

4. Sistem Uap Flash Ganda

Proses kinerja dari sistem uap flash ganda seperti pada gambar 7.11.



Gambar 7.11: Sistem Uap Flash Ganda (Alyssa kagel, 2008)

Ada dua unit flasher digunakan pada sistem flash ganda ini, di mana flash satu ditempatkan di permukaan tanah, yang lainnya terletak di bawah permukaan tanah. Sistem ini juga dilengkapi alat pemisah sisa fluida dari separator dialirkan ke flasher. Pada umumnya pada sistem

uap flash ganda, fluida mempunyai dua saluran menuju turbin yaitu dari pemisah dan flasher. Pada sistem ini bisa digunakan oleh dua turbin yang bergabung menjadi satu sistem. Contoh sistem pembangkit telah digunakan Hatchobaru (Jepang) dan Krafla (Islandia).

5. Sistem Uap Flash Jamak

Proses kinerja dari sistem uap flash jamak pada gambar 7.12.

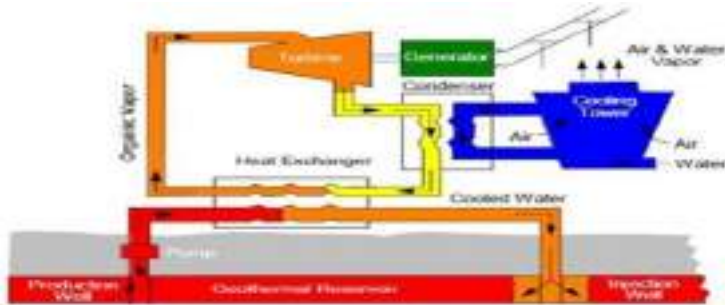


Gambar 7.12: Sistem Uap Flash Jamak

Ada lebih banyak flasher (tiga atau lebih) digunakan di sistem uap flash jamak di mana lebih banyak titik-titik tekanan uap panas disemburkan di turbin uap. Titik-titik tekanan uap dari beberapa flasher yang dipasang berguna sebagai fluida penggerak turbin sehingga dihasilkan daya energi listrik. Hal tersebut terjadi ketika sistem uap flash jamak memiliki sumber geotermalnya (sumur injeksi) tersedia lebih dari satu sumur injeksi. Contoh tipe pembangkit listrik ada di Wairakei Power Plant (New Zealand).

6. Sistem Siklus Brine

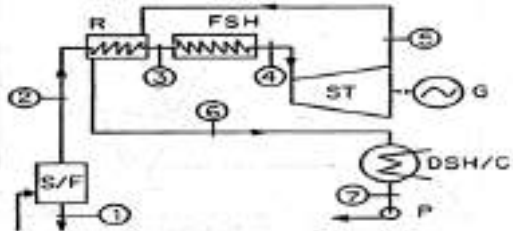
Proses kinerja sistem siklus brin seperti pada gambar 7.13.



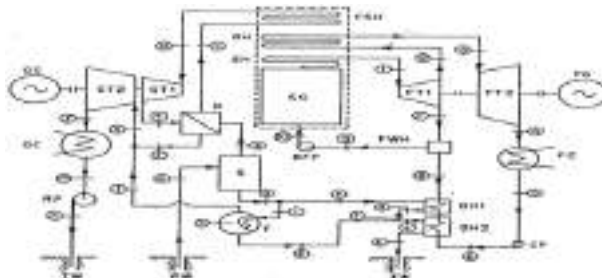
Gambar 7.13: Sistem Siklus Brine (Geo-heat, Alyssa kagel, 2008)

Titik didih rendah yang dimiliki fluida gas atau gas sekunder yaitu fluorocarbon dan hidrokarbon digunakan dalam proses siklus brin. Fungsi geofluida (cair) yang dapat mengkonversikan energi panas yang bekerja pada fluida sehingga berubah menjadi fase uap. Proses tersebut terjadi di dalam alat penukar kalor (heat exchanger). Uap yang dihasilkan dari pemanasan tersebut digunakan sebagai energi mekanik turbin/generator. Uap sisa dari turbin masuk ke kondensator untuk diembunkan (kondensasi) menjadi cairan dengan bantuan menara pendingin kemudian fluida (cair) dipompa kembali ke alat penukar kalor. Contoh pembangkit sistem siklus brine ini digunakan di Paratunka (USSR/Rusia), dan Otake (Jepang).

7. Sistem Gabungan Fossil-Panas Bumi Proses kinerja sistem Gabungan fosil-panas bumi, tipe ini seperti pada gambar 7.14



Gambar 7.14: Sistem Gabungan Fossil-Panas Bumi (R.diPippo,1978)
Tipe sistem ini digunakan bahan bakar berupa dari fosil. Berdasarkan termodinamika dalam sistem ini, efisiensi ekspansi dapat ditingkatkan di dalam turbin, hal ini disebabkan oleh uap kering alami yang diperoleh proses pemanasan sistem gabungan fosil-panas bumi dibandingkan dengan proses pemanasan uap basah biasa.



Gambar 7.15: Sistem Gabungan Hybrid Fossil(R.diPippo,1978)

Keterangan:

PW = Sumur Produksi , CP = Pompa Kondensat, S = Alat Pemisah , BH1,BH2 = Alat Penukar kalor Brine, R = Regenerator, FWH = Alat Pemanas Air , SG = Turbin Uap, BFP = Pompa air boiler, SH = Pemanas utama, F = Flasher, RH = Pemanas Ulang, GT1,GT2 = Turbin Panas Bumi, FSH = Fossil Pemanas, GG = Generator Geothermal, FT1,FT2 = Turbin Fossil , GC = Condensor Geothermal, FG = Fossil Generator, RP = Pompa Injeksi ulang. FC = Fossil Condensor, IW = Sumur injeksi.

8. Sistem Total Flow.

Panas bumi dimanfaatkan melalui penggunaan sistem total flow yang terdiri atas berbagai contoh telah banyak disempurnakan untuk beberapa kepentingan. Ada beberapa sistem total flow yang perlu diketahui, tetapi belum perlu pembahasan lanjut yang detail, seperti berikut ini:

- a. Sprankle Double Helix Expander.
- b. Robertson Engine.
- c. Keller Rotor Oscillating Vane Machine (KROV).
- d. Armstead – Hero Turbine.
- e. The Gravimetric Loop Machine.
- f. The Biphase Turbine.

7.4 Proses Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

1. Uap panas bumi disuplai dari sumur produksi dengan melewati sistem transmisi uap. Uap dimasukkan dan dikumpul ke dalam Steam Receiving Header . Dalam Sistem Steam Receiving Header juga dilengkapi dengan sistem Rupture Disc sebagai sistem pengaman terakhir unit. Di mana jika terjadi tekanan berlebih (over pressure) di dalam Steam Receiving maka uap berlebih itu dibuang melalui

Saluran udara selain itu Pada saat dinyalakan Saluran udara/Vent Structure berfungsi sebagai pemanas awal pada jaringan pipa dan katup pengaman yang melepaskan tekanan berlebih apabila terjadi pemadaman tiba-tiba atau suddden trip.

2. Uap panas dari alat penampung uap utama (Steam Receiving Header) disuplai ke Separator (Cyclone Type) berguna dalam melepaskan uap basah (wet steam) dari gangguan benda-benda berbahaya seperti Sodium, Potasium, Calsium, Silika, Boron dan Amonia, Fluor.
3. Uap panas dimasukkan ke dalam Demister. Dalam Demister, kelembaban udara (moisture) yang terkandung dalam uap dipisahkan sehingga diperoleh hanya uap kering.
4. bin akan diperoleh perubahan energi dari energi kalor yang ada dalam uap kering menjadi energi kinetik diterima oleh sudu-sudu turbin selanjutnya energi ini diteruskan ke generator agar dapat berputar/bergerak dan menghasilkan energi listrik.
5. Daya Listrik (Electricity) dihasilkan oleh generator berputar/bergerak.
6. Dari turbin, Exahust steam (uap sisa) dikondensasikan pada Condensor dengan menggunakan alat semburan air (Jet Spray) pada kondensor (Direct Contact Condensor).
7. NCG (Non Condensable Gas) yang dimasukkan kedalam Condensor kemudian ditangkap oleh First Ejector kemudian didinginkan dan dikumpul oleh intercondensor. Kemudian dari Intercondensor, selanjutnya NCG diteruskan ke Second Ejector dimasukkan ke After condensor berupa resevoir pendingin kedua setelah itu dibuang ke atmosfer melewati menara pendingin (Cooling Tower).
8. Air yang dihasilkan dari pengembunan dikondensor selanjutnya dipompa Pompa (Main Cooling Water Pump) menuju ke Cooling Tower. Uap panas didinginkan terlebih dulu dalam Cooling Tower, sebelum uap panas disirkulasikan kembali ke dalam kondensor,.
9. Primary Cooling System merupakan sistem pendingin utama selain itu berfungsi juga sebagai Secondary Cooling System yang berguna

dalam pendistribusian fluida pendingin ke Intercondensor dan Aftercondensor.

10. Kelebihan Fluida hasil proses pendinginan yang terjadi dalam Cold Basin Cooling Tower akan ditampung pada wadah sebagai kebutuhan injeksi di ReInjection Pump.
11. River Make-Up Pump berfungsi mengisi air sisa kelebihan siklus ke Cold Basin Cooling Tower.

Bab 8

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa di Indonesia

8.1 Sumber Biomassa yang Melimpah

Indonesia memiliki sumber biomassa yang melimpah, seperti tandan kosong kelapa sawit, sekam padi, jerami, limbah kayu, dan limbah pertanian lainnya. Dengan manajemen yang baik, limbah-limbah ini dapat diubah menjadi energi listrik yang bersih dan berkelanjutan. sebagai sumber biomassa yang melimpah merujuk pada beragam jenis bahan organik yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan berlimpah di lingkungan tertentu.

Indonesia memiliki berbagai sumber biomassa yang melimpah, termasuk:

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Salah satu sumber biomassa paling dominan di Indonesia adalah tandan kosong kelapa sawit. Indonesia adalah salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia, dan setiap tahunnya menghasilkan jutaan ton tandan kosong yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik.

2. Sekam Padi dan Jerami

Sekam padi dan jerami adalah limbah pertanian yang berlimpah di Indonesia. Mereka dapat diubah menjadi briket atau bahan bakar biomassa untuk pembangkit listrik.

3. Limbah Kayu

Indonesia memiliki sejumlah besar hutan dan industri kayu, sehingga menghasilkan limbah kayu yang signifikan. Limbah kayu ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber biomassa untuk pembangkit listrik.

4. Limbah Pertanian Lainnya

Selain sekam padi dan jerami, ada berbagai limbah pertanian lainnya seperti kulit kopi, kulit kakao, dan limbah tanaman lainnya yang dapat digunakan sebagai biomassa.

5. Limbah Ternak

Limbah dari peternakan, seperti kotoran ternak, juga dapat diubah menjadi biogas atau digunakan dalam proses pembangkitan listrik biomassa.

6. Biomassa Alami

Indonesia memiliki beragam sumber biomassa alami, termasuk tumbuhan air seperti eceng gondok, rumput laut, dan alga yang dapat digunakan dalam proses pembangkitan listrik.

7. Limbah Industri

Berbagai industri menghasilkan limbah organik, seperti limbah makanan dari industri makanan dan limbah organik dari industri pengolahan kelapa, yang dapat dijadikan sumber biomassa.

Sumber-sumber biomassa ini merupakan aset berharga untuk pembangkit listrik tenaga biomassa. Penggunaan efisien dan berkelanjutan dari sumber biomassa ini dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi gas rumah kaca, serta memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal dan petani. Selain itu, mengubah limbah organik menjadi sumber energi dapat membantu mengatasi masalah sampah organik dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan industri biomassa di Indonesia memiliki potensi besar dalam mendukung keberlanjutan energi dan lingkungan negara ini.

8.2 Pengurangan Sampah Organik

Pemanfaatan biomassa untuk pembangkit listrik dapat membantu mengurangi jumlah sampah organik yang mencemari lingkungan. Hal ini akan berdampak positif pada upaya pengelolaan limbah dan perlindungan lingkungan. Pengurangan sampah organik melalui pemanfaatan biomassa adalah salah satu pendekatan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengelola limbah organik sambil memproduksi energi bersih.

Berikut adalah cara-cara di mana pemanfaatan biomassa dapat membantu dalam mengurangi sampah organik:

1. Pengolahan Limbah Rumah Tangga

Sampah organik yang dihasilkan dari rumah tangga, seperti sisa makanan, daun kering, dan sisa-sisa organik lainnya, dapat diolah menjadi kompos atau digunakan dalam pembangkit listrik biomassa. Kompos yang dihasilkan dari limbah organik dapat digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah, sementara pembangkit listrik biomassa akan mengubah limbah ini menjadi energi listrik.

2. Pemanfaatan Sisa Pertanian

Sekam padi, jerami, dan limbah pertanian lainnya seringkali dibiarkan terbuang begitu saja atau dibakar, yang dapat menghasilkan polusi udara dan kerugian lingkungan. Namun, limbah pertanian ini dapat diolah menjadi briket biomassa atau digunakan dalam pembangkit listrik biomassa.

3. Pemanfaatan Limbah Industri

Banyak industri menghasilkan limbah organik sebagai produk sampingan dari proses produksi mereka. Misalnya, industri makanan menghasilkan limbah makanan, dan industri pengolahan kayu menghasilkan limbah kayu. Dengan pemanfaatan biomassa, limbah-limbah ini dapat diubah menjadi energi atau produk bernilai lainnya.

4. Pembangkit Listrik Biomassa

Pembangkit listrik biomassa menggunakan biomassa sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik. Ini dapat mencakup berbagai jenis biomassa, termasuk serbuk kayu, tandan kosong kelapa sawit,

atau biomassa alami seperti eceng gondok. Proses ini mengkonversi biomassa menjadi energi listrik sambil mengurangi volume sampah organik yang berakhir di tempat pembuangan akhir.

5. Biogas dari Limbah Ternak

Kotoran ternak adalah sumber potensial untuk produksi biogas. Dengan menggunakan biodigester, kotoran ternak dapat diubah menjadi biogas yang dapat digunakan untuk memasok energi pada peternakan atau kebutuhan rumah tangga.

Keuntungan dari pengurangan sampah organik melalui pemanfaatan biomassa termasuk pengurangan polusi lingkungan, pengurangan emisi gas rumah kaca, pengurangan volume sampah di tempat pembuangan akhir, dan produksi energi terbarukan. Selain itu, pemanfaatan biomassa juga dapat menciptakan peluang ekonomi baru dalam bentuk pekerjaan, penjualan energi listrik, dan produk turunan biomassa seperti kompos organik. Namun, untuk menerapkan pendekatan ini secara efektif, diperlukan investasi dalam infrastruktur, teknologi yang tepat, dan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan limbah organik. Pengaturan dan kebijakan yang mendukung juga penting untuk mempromosikan pemanfaatan biomassa sebagai solusi pengurangan sampah organik yang berkelanjutan.

8.3 Peningkatan Ekonomi Lokal

Industri biomassa dapat menciptakan lapangan kerja di wilayah-wilayah pedesaan dan memberikan peluang ekonomi bagi petani dan masyarakat lokal. Selain itu, pembangkit listrik biomassa dapat meningkatkan akses terhadap energi di daerah terpencil.

Industri biomassa memiliki potensi besar untuk memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan ekonomi lokal di daerah-daerah di Indonesia. Berikut adalah beberapa cara di mana industri biomassa dapat mendukung pertumbuhan ekonomi lokal:

1. Penciptaan Lapangan Kerja

Pembangunan pembangkit listrik tenaga biomassa dan unit pengolahan biomassa memerlukan tenaga kerja lokal. Ini

menciptakan peluang pekerjaan langsung, seperti operator pabrik, teknisi, dan petugas pemeliharaan, yang dapat mengurangi tingkat pengangguran di daerah tersebut.

2. Diversifikasi Pendapatan Petani

Banyak jenis biomassa berasal dari sektor pertanian, seperti tandan kosong kelapa sawit, sekam padi, dan jerami. Produksi dan penjualan biomassa dapat menjadi sumber pendapatan tambahan bagi petani, membantu mereka mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman, dan meningkatkan stabilitas ekonomi mereka.

3. Peningkatan Nilai Tambah

Industri biomassa memungkinkan daerah-daerah untuk mengubah limbah organik menjadi produk bernilai seperti briket biomassa, kompos, atau energi listrik. Ini meningkatkan nilai tambah pada limbah organik yang sebelumnya dianggap sebagai sisa dan membantu meningkatkan pendapatan daerah.

4. Pembelian Lokal dan Pasokan Bahan Baku

Industri biomassa seringkali membutuhkan pasokan bahan baku yang besar, seperti tandan kosong kelapa sawit atau jerami. Dengan membeli bahan baku ini dari petani atau produsen lokal, industri biomassa dapat membantu meningkatkan pendapatan lokal dan mendukung pertumbuhan ekonomi.

5. Pendapatan Pajak dan Penerimaan Negara

Pembangunan dan operasi pembangkit listrik tenaga biomassa menghasilkan pendapatan pajak dan penerimaan negara yang dapat digunakan untuk mendukung program-program pembangunan di tingkat lokal dan nasional.

6. Pengembangan Infrastruktur

Seiring dengan pertumbuhan industri biomassa, dapat terjadi pengembangan infrastruktur lokal seperti jalan, transportasi, dan fasilitas penanganan bahan baku. Hal ini dapat membuka pintu bagi pengembangan ekonomi yang lebih luas di wilayah tersebut.

7. Pelatihan dan Pendidikan

Industri biomassa juga memerlukan tenaga kerja yang terampil. Oleh karena itu, pelatihan dan pendidikan dapat diberikan kepada penduduk setempat untuk meningkatkan keterampilan mereka, yang dapat digunakan dalam berbagai sektor ekonomi.

Penting untuk mencatat bahwa kesuksesan industri biomassa dalam meningkatkan ekonomi lokal memerlukan perencanaan yang baik, kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat lokal, serta kebijakan yang mendukung. Selain itu, perlindungan lingkungan dan keberlanjutan harus selalu diperhatikan dalam pengembangan industri biomassa untuk memastikan manfaat jangka panjang bagi komunitas lokal dan lingkungan.

8.4 Energi Terbarukan dan Ramah Lingkungan

Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan menghasilkan listrik dari biomassa, Indonesia dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan berkontribusi pada perubahan iklim global. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang dapat menghasilkan listrik dan panas dengan cara yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Berikut ini adalah beberapa alasan mengapa energi dari biomassa dianggap sebagai pilihan yang ramah lingkungan:

1. Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca

Salah satu keuntungan utama dari energi biomassa adalah bahwa saat biomassa terbakar untuk menghasilkan energi, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan cenderung seimbang dengan jumlah CO₂ yang diserap oleh tanaman selama pertumbuhan mereka. Ini berbeda dari pembakaran bahan bakar fosil, yang secara signifikan meningkatkan konsentrasi CO₂ di atmosfer, menyebabkan perubahan iklim global. Dengan demikian, energi biomassa membantu mengurangi emisi gas rumah kaca secara bersih.

2. Mengurangi Pemanasan Global

Dengan mengurangi emisi CO₂, penggunaan energi biomassa dapat membantu memperlambat laju pemanasan global dan mengurangi dampak perubahan iklim, seperti kenaikan suhu global, banjir, kekeringan, dan perubahan pola cuaca ekstrem.

3. Pengelolaan Limbah Organik

Energi biomassa memungkinkan pengolahan limbah organik menjadi sumber energi. Ini membantu mengurangi jumlah sampah organik yang berakhir di tempat pembuangan akhir, yang seringkali menghasilkan metana, gas rumah kaca yang lebih kuat dari CO₂. Dengan menggunakan limbah organik sebagai bahan bakar, kita dapat meminimalkan dampak negatifnya pada lingkungan.

4. Diversifikasi Energi

Meningkatnya penggunaan energi biomassa membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang merupakan sumber energi yang terbatas dan berkontribusi pada masalah lingkungan. Diversifikasi sumber energi dapat membantu mengamankan pasokan energi di masa depan dan mengurangi risiko pasokan.

5. Sumber Energi Terbarukan

Biomassa adalah sumber energi terbarukan karena tanaman yang digunakan dalam produksinya dapat ditanam kembali. Ini berarti bahwa kita tidak akan kehabisan bahan bakar biomassa jika dikelola dengan baik.

6. Peningkatan Kualitas Udara

Saat dibandingkan dengan pembakaran biomassa tradisional yang tidak efisien, pembangkit listrik biomassa modern dilengkapi dengan teknologi yang canggih untuk mengurangi polusi udara. Ini termasuk penggunaan filter dan sistem pemurnian yang membantu menghasilkan udara yang lebih bersih.

Meskipun energi biomassa memiliki manfaat lingkungan yang signifikan, juga penting untuk memastikan bahwa produksi dan penggunaannya dilakukan dengan berkelanjutan dan memperhatikan dampak terhadap ekosistem lokal. Ini termasuk pengelolaan hutan yang bertanggung jawab, pemanfaatan limbah

organik dengan benar, dan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan dalam proses pembangkitan listrik biomassa. Dengan pendekatan yang tepat, energi biomassa dapat menjadi salah satu alat penting dalam peralihan menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan secara ekonomi dan lingkungan.

8.5 Kebijakan Dukungan

Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah-langkah dalam mendukung pengembangan energi biomassa melalui berbagai kebijakan dan insentif, seperti tarif listrik yang menguntungkan bagi produsen energi biomassa.

Namun, ada beberapa tantangan yang perlu di atasi dalam mengoptimalkan potensi pembangkit listrik tenaga biomassa di Indonesia, antara lain:

1. Infrastruktur

Diperlukan investasi dalam infrastruktur yang memadai untuk mengumpulkan, mengangkut, dan mengelola biomassa dari berbagai sumber ke pembangkit listrik.

2. Teknologi dan R&D

Pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk konversi biomassa menjadi energi listrik perlu didukung melalui penelitian dan pengembangan.

3. Kesadaran

Masyarakat perlu diberikan pemahaman tentang manfaat energi biomassa dan bagaimana cara mengelola limbah biomassa dengan benar.

4. Regulasi yang Konsisten

Diperlukan regulasi yang konsisten dan jelas untuk mendukung pengembangan industri biomassa di Indonesia.

Dengan memanfaatkan potensi pembangkit listrik tenaga biomassa secara optimal, Indonesia dapat mengurangi emisi karbon, meningkatkan akses terhadap energi di daerah terpencil, dan menciptakan lapangan kerja baru. Dalam menghadapi tantangan energi dan lingkungan, energi biomassa adalah salah satu solusi yang berpotensi untuk memberikan manfaat besar bagi negara ini.

Bab 9

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia

9.1 Nuklir

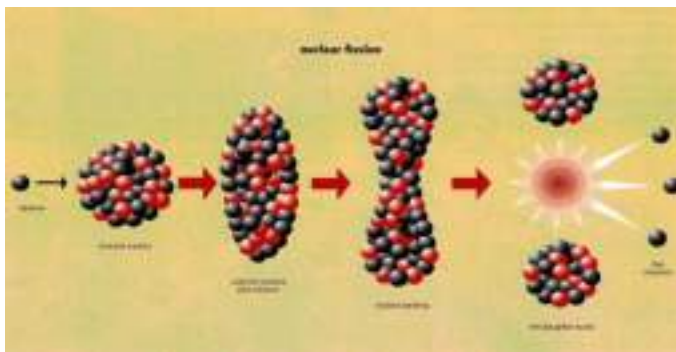
Apa itu nuklir? Sepertinya sebagian besar orang berpikir bahwa nuklir itu sesuatu yang mengerikan dan berbahaya, identik dengan bom dan dampak radiasi yang ditimbulkannya. Bagi kebanyakan orang, nuklir dianggap sebagai sesuatu yang tidak baik dan berbahaya. Jika kita bersikap terbuka dan mencoba untuk mengenal nuklir lebih dalam lagi, ternyata kita dapat menemukan “kebaikan-kebaikan” yang dapat diberikan nuklir bagi kesejahteraan hidup manusia. Dengan berlandaskan asumsi bahwa nuklir dapat bermanfaat bagi manusia, para peneliti dan orang-orang yang bergelut di bidang nuklir telah banyak memberikan kontribusi bagi kemajuan pengembangan teknologi nuklir.

Nuklir adalah zat yang bisa melepaskan oksigen dari udara atau zat yang dapat memecah partikel benda lain nya. Fusi nuklir adalah sumber energi yang menyebabkan bintang bersinar, dan Bom Hidrogen meledak. Dikenal dua reaksi nuklir, yaitu reaksi fusi nuklir dan reaksi fisi nuklir. Reaksi fusi nuklir adalah reaksi peleburan dua atau lebih inti atom menjadi atom baru dan menghasilkan energi, juga dikenal sebagai reaksi yang bersih. Reaksi fisi

nuklir adalah reaksi pembelahan inti atom akibat tubrukan inti atom lainnya, dan menghasilkan energi dan atom baru yang bermassa lebih kecil, serta radiasi elektromagnetik. Reaksi fusi juga menghasilkan radiasi sinar alfa, beta dan gamma yang sangat berbahaya bagi manusia.

9.1.1 Fisi Nuklir

Nuklir adalah sebutan untuk bentuk energi yang dihasilkan melalui reaksi inti, baik itu reaksi fisi (pemisahan) maupun reaksi fusi (penggabungan). Sumber energi nuklir yang paling sering digunakan untuk PLTN adalah sebuah unsur radioaktif yang bernama Uranium. Bagaimana caranya sebuah unsur radioaktif mampu menghasilkan panas yang besar? Tentu saja bukan dengan dibakar. Namun melalui reaksi pemisahan inti (reaksi fisi). Seperti terlihat pada gambar 9.1 berikut reaksi pemisahan inti (reaksi fisi).



Gambar 9.1: Reaksi Pemisahan Inti (Reaksi Fisi) (sumber: www.google.com)

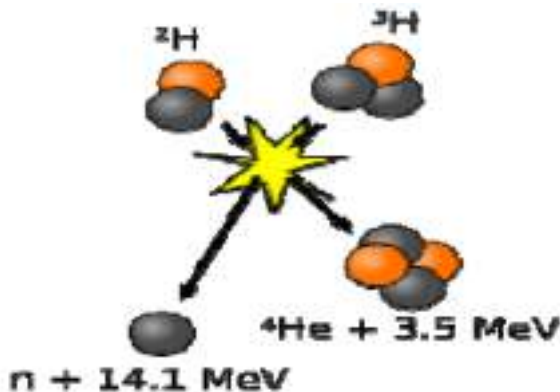
Atom uranium (U-235) (digambarkan dengan warna hitam merah di sebelah kiri) memiliki inti yang tidak stabil ketika ada neutron (warna hitam di paling kiri) yang ditembakkan pada inti atom tersebut, maka inti atom uranium akan membelah menjadi dua buah inti atom, yakni atom Barium (Ba-141) dan atom Krypton (Kr-92) serta tiga neutron (warna hitam di kanan).

Karena massa atom sebelum pembelahan lebih besar dari pada massa atom setelah pembelahan, maka selisih massa (disebut defek massa) tersebut berubah menjadi energi panas yang besarnya sekitar 200 MeV (Mega elektron volt), ini baru satu buah inti atom (Januar, 2012). satu gram uranium saja tentu memiliki banyak inti. Sehingga panas yang dihasilkan pun luar biasa besar.

9.1.2 Fusi Nuklir

Dalam fisika, fusi nuklir (reaksi termonuklir) adalah sebuah proses di mana dua inti atom bergabung, membentuk inti atom yang lebih besar dan melepaskan energi. Fusi nuklir adalah sumber energi yang menyebabkan bintang bersinar, dan senjata nuklir meledak. Proses ini membutuhkan energi yang besar untuk menggabungkan inti nuklir, bahkan elemen yang paling ringan, hidrogen. Tetapi fusi inti atom yang ringan, yang membentuk inti atom yang lebih berat dan neutron bebas, akan menghasilkan energi yang lebih besar lagi dari energi yang dibutuhkan untuk menggabungkan mereka maka sebuah reaksi eksotermik yang dapat menciptakan reaksi yang terjadi sendirinya.

Energi yang dilepas di banyak reaksi nuklir lebih besar dari reaksi kimia, karena energi pengikat yang mengelem kedua inti atom jauh lebih besar dari energi yang menahan elektron ke inti atom. Contoh: energi ionisasi yang diperoleh dari penambahan elektron ke hidrogen adalah 13.6 elektron volt lebih kecil satu per sejuta dari 17 MeV yang dilepas oleh reaksi Deuterium-Tritium (D-T) fusion seperti pada gambar 9.2. Reaksi D-T Fusion.



Gambar 9.2: Reaksi D-T Fusion (Sumber: www.google.com)

9.2 Energi Nuklir sebagai Sumber Energi

Secara umum, energi nuklir dapat dihasilkan melalui dua macam mekanisme, yaitu pembelahan inti atau reaksi fisi dan penggabungan beberapa inti melalui reaksi fusi. Di sini akan dibahas salah satu mekanisme produksi energi nuklir, yaitu reaksi fisi nuklir. Sebuah inti berat yang ditumbuk oleh partikel (misalnya neutron) dapat membelah menjadi dua inti yang lebih ringan dan beberapa partikel lain. Mekanisme semacam ini disebut pembelahan inti atau fisi nuklir. Contoh reaksi fisi adalah uranium. Reaksi fisi uranium menghasilkan neutron selain dua buah inti atom yang lebih ringan. Neutron ini dapat menumbuk (diserap) kembali oleh inti uranium untuk membentuk reaksi fisi berikutnya.

Dibandingkan dibentuk dalam bentuk bom nuklir, pelepasan energi yang dihasilkan melalui reaksi fisi dapat dimanfaatkan untuk hal-hal yang lebih berguna. Untuk itu, reaksi berantai yang terjadi dalam reaksi fisi harus dibuat lebih terkendali. Usaha ini bisa dilakukan di dalam sebuah reaktor nuklir. Reaksi berantai terkendali dapat diusahakan berlangsung di dalam reaktor yang terjamin keamanannya dan energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang lebih berguna, misalnya untuk penelitian dan untuk membangkitkan listrik. Di dalam reaksi fisi yang terkendali, jumlah neutron dibatasi sehingga hanya satu neutron saja yang akan diserap untuk pembelahan inti berikutnya. Dengan mekanisme ini, diperoleh reaksi berantai terkendali yang energi yang dihasilkannya dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang berguna.

Energi yang dihasilkan dalam reaksi fisi nuklir dapat dimanfaatkan untuk keperluan yang berguna. Untuk itu, reaksi fisi harus berlangsung secara terkendali di dalam sebuah reaktor nuklir. Sebuah reaktor nuklir paling tidak memiliki empat komponen dasar, yaitu elemen bahan bakar, moderator neutron, batang kendali, dan perisai beton.

Elemen bahan bakar menyediakan sumber inti atom yang akan mengalami fisi nuklir. Bahan yang biasa digunakan sebagai bahan bakar adalah uranium U. elemen bahan bakar dapat berbentuk batang yang ditempatkan di dalam teras reaktor. Neutron-neutron yang dihasilkan dalam fisi uranium berada dalam kelajuan yang cukup tinggi. Adapun, neutron yang memungkinkan terjadinya fisi nuklir adalah neutron lambat sehingga diperlukan material yang dapat memperlambat kelajuan neutron ini. Fungsi ini dijalankan oleh moderator

neutron yang umumnya berupa air. Jadi, di dalam teras reaktor terdapat air sebagai moderator yang berfungsi memperlambat kelajuan neutron karena neutron akan kehilangan sebagian energinya saat bertumbukan dengan molekul-molekul air.

Radiasi yang dihasilkan dalam proses pembelahan inti atom atau fisi nuklir dapat membahayakan lingkungan di sekitar reaktor. Diperlukan sebuah pelindung di sekeliling reaktor nuklir agar radiasi dari zat radioaktif di dalam reaktor tidak menyebar ke lingkungan di sekitar reaktor. Fungsi ini dilakukan oleh perisai beton yang dibuat mengelilingi teras reaktor. Beton diketahui sangat efektif menyerap sinar hasil radiasi zat radioaktif sehingga digunakan sebagai bahan perisai. Energi yang dihasilkan dari reaksi fisi nuklir terkendali di dalam reaktor nuklir dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Instalasi pembangkitan energi listrik semacam ini dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN)

Salah satu bentuk reaktor nuklir adalah reaktor air bertekanan (pressurized water reactor/PWR). Energi yang dihasilkan di dalam reaktor nuklir berupa kalor atau panas yang dihasilkan oleh batang-batang bahan bakar. Kalor atau panas dialirkan keluar dari teras reaktor bersama air menuju alat penukar panas (heat exchanger). Di sini uap panas dipisahkan dari air dan dialirkan menuju turbin untuk menggerakkan turbin menghasilkan listrik, sedangkan air didinginkan dan dipompa kembali menuju reaktor. Uap air dingin yang mengalir keluar setelah melewati turbin dipompa kembali ke dalam reaktor.

9.3 Energi Nuklir sebagai Senjata Militer

Senjata nuklir adalah salah satu alat pemusnah massal yang mendapatkan daya ledak (daya hancur) dari reaksi nuklir, baik reaksi fisi atau kombinasi dari fisi dan fusi. Keduanya melepaskan sejumlah besar energi dari sejumlah massa yang kecil, bahkan senjata nuklir mini dapat menghancurkan sebuah kota dengan ledakan, api, dan radiasi.

Pada Perang Dunia kedua, Amerika membiayai sebuah proyek rahasia yang bernama Manhattan Project, proyek ini mempunyai tujuan membuat senjata nuklir berdasarkan pada setiap jenis unsur belah (fissile material). Dalam pelaksanaan proyek tersebut, pada tanggal 16 Juli 1945 Amerika Serikat telah meledakkan senjata nuklir pertama dalam sebuah percobaan dengan nama

sandi "Trinity", yang diledakkan dekat Alamogordo, New Mexico. Percobaan ini bertujuan untuk menguji cara peledakkan senjata nuklir. Di luar kepentingan percobaan proyek, Bom uranium pertama diberi nama Little Boy, diledakkan di kota Hiroshima, Jepang, pada tanggal 6 Agustus 1945, diikuti dengan peledakkan bom plutonium Fat Man di Nagasaki.

9.4 Dampak dari Penggunaan Energi Nuklir

9.4.1 Dampak Positif

Pertimbangan pemanfaatan energi nuklir sebagai pembangkit listrik (PLTN) adalah penghematan penggunaan sumber daya nasional, mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi, batubara dan gas bumi, mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan, serta meningkatkan ketahanan dan kemandirian pasokan energi untuk mendukung pembangunan nasional jangka panjang.

Tenaga nuklir juga dimanfaatkan pada bidang-bidang lainnya seperti bidang pertanian, peternakan, hidrologi, industri, kesehatan, penggunaan zat radioaktif dan sinar-X untuk radiografi, logging, gauging, analisa bahan, kaos lampu, perunut (tracer) dan lain-lain. Dalam bidang penelitian terutama banyak dilakukan oleh BATAN mulai dari skala kecil sampai dengan skala besar. Pemanfaatan dalam bidang kesehatan dapat dilihat seperti untuk diagnosa, kedokteran nuklir, penggunaan untuk terapi di mana radiasi digunakan untuk membunuh sel-sel kanker. Bagi Indonesia, nuklir sebagai sumber energi terbarukan,

Pembangkit listrik berbasis nuklir dianggap lebih ramah lingkungan daripada pembangkit listrik berbasis bahan bakar minyak. Emisi karbon dioksida pembangkit energi nuklir lebih rendah daripada batu bara, minyak bumi, gas alam, bahkan hidro energi dan pembangkit energi surya. Ketiga, alasan ekonomis. Harga listrik yang dihasilkan nantinya akan lebih murah karena biaya produksi bisa ditekan. Sebagai perbandingan, 1 kg uranium sebagai bahan baku nuklir, setara dengan 1.000 – 3.000 ton batu bara (Elsan Januar, 2012). Beberapa Kelebihan dari energi nuklir, yaitu: Bahan bakarnya tidak mahal, mudah untuk dipindahkan (dengan sistem keamanan yang ketat),

energinya sangat tinggi, dan tidak mempunyai efek rumah kaca dan hujan asam.

9.4.2 Dampak Negatif

Meskipun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir banyak manfaatnya, akan tetapi jika suatu saat terjadi kebocoran reaktor nuklir akan berakibat fatal. Seperti yang terjadi di Chernobyl, Ukraina pada April 1986. Radiasi ledakan itu meledak dan terlontar 1500 meter ke udara, yang membuat radiasi paparan sampai jauh ke Eropa. Selain memicu evakuasi ribuan warga dari sekitar lokasi kejadian, dampak kesehatan masih dirasakan para korban hingga bertahun-tahun kemudian misalnya kanker, gangguan kardiovaskular dan bahkan kematian. Bahkan sampai saat ini daerah tersebut dibiarkan tanpa berpenghuni.

Radiasi yang dihasilkan dalam proses pembelahan inti atom atau fisi nuklir dapat membahayakan lingkungan di sekitar reaktor.

Beberapa Kelemahan dari penggunaan energi nuklir seperti: Butuh biaya yang besar untuk sistem penyimpanannya disebabkan dari bahaya radiasi energi nuklir itu sendiri, masalah kepemilikan energi nuklir disebabkan karena bahayanya massal dan produk buangnya yang sangat radioaktif, Nuklir sebagai senjata pemusnah.

9.5 Energi Nuklir

Di dalam inti atom tersimpan tenaga inti (nuklir) yang luar biasa besarnya. Tenaga nuklir itu hanya dapat dikeluarkan melalui proses pembakaran bahan bakar nuklir. Proses ini sangat berbeda dengan pembakaran kimia biasa yang umumnya sudah dikenal, seperti pembakaran kayu, minyak dan batubara. Besar energi yang tersimpan (E) di dalam inti atom adalah seperti dirumuskan dalam kesetaraan massa dan energi oleh Albert Einstein:

$$E = m C^2$$

Di mana

m = massa bahan (kg)

C = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s).

Energi nuklir berasal dari perubahan sebagian massa inti dan keluar dalam bentuk panas. Dilihat dari proses berlangsungnya, ada dua jenis reaksi nuklir, yaitu reaksi nuklir berantai tak terkendali dan reaksi nuklir berantai terkendali. Reaksi nuklir tak terkendali terjadi misal pada ledakan bom nuklir. Dalam peristiwa ini reaksi nuklir sengaja tidak dikendalikan agar dihasilkan panas yang luar biasa besarnya sehingga ledakan bom memiliki daya rusak yang maksimal. Agar reaksi nuklir yang terjadi dapat dikendalikan secara aman dan energi yang dibebaskan dari reaksi nuklir tersebut dapat dimanfaatkan, maka manusia berusaha untuk membuat suatu sarana reaksi yang dikenal sebagai reaktor nuklir. Jadi reaktor nuklir sebetulnya hanyalah tempat di mana reaksi nuklir berantai terkendali dapat dilangsungkan. Reaksi berantai di dalam reaktor nuklir ini tentu sangat berbeda dengan reaksi berantai pada ledakan bom nuklir.

Untuk mendapatkan gambaran tentang besarnya energi yang dapat dilepaskan oleh reaksi nuklir, berikut ini diberikan contoh perhitungan sederhana.

Ambil 1 g (0,001 kg) bahan bakar nuklir U235. Jumlah atom di dalam bahan bakar ini adalah:

$$N = (1/235) \times 6,02 \times 10^{23} = 25,6 \times 10^{20} \text{ atom U235..}$$

Karena setiap proses fisi bahan bakar nuklir U235 disertai dengan pelepasan energi sebesar 200 MeV, maka 1 g U235 yang melakukan reaksi fisi sempurna dapat melepaskan energi sebesar:

$$E = 25,6 \times 10^{20} (\text{atom}) \times 200 (\text{MeV/atom}) = 51,2 \times 10^{22} \text{ MeV}$$

Jika energi tersebut dinyatakan dengan satuan Joule (J), di mana

1 MeV = $1,6 \times 10^{-13}$ J, maka energi yang dilepaskan menjadi:

$$E = 51,2 \times 10^{22} (\text{MeV}) \times 1,6 \times 10^{-13} (\text{J/MeV}) = 81,92 \times 10^9 \text{ J}$$

Dengan menganggap hanya 30 % dari energi itu dapat diubah menjadi energi listrik, maka energi listrik yang dapat diperoleh dari 1 g U235 adalah:

$$E \text{ listrik} = (30/100) \times 81,92 \times 10^9 \text{ J} = 24,58 \times 10^9 \text{ J}$$

Karena $1\text{J} = 1 \text{ W.s}$ ($E = P.t$), maka peralatan elektronik seperti pesawat tv

dengan daya (P) 100 W dapat dipenuhi kebutuhan listriknya oleh 1 g U235 selama: $t = E \text{ listrik} / P = 24,58 \times 10^9 (\text{J}) / 100 (\text{W}) = 24,58 \times 10^7 \text{ s}$

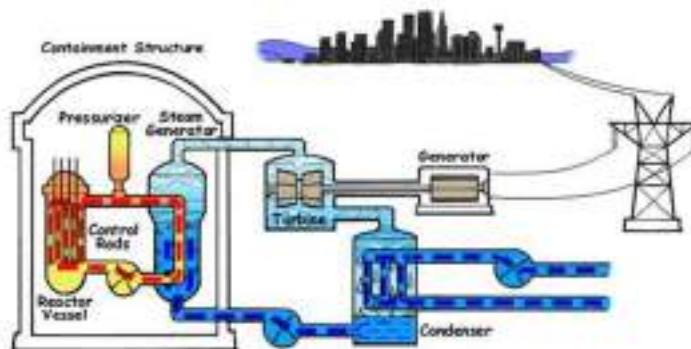
Angka $24,58 \times 10^7$ sekon (detik) sama lamanya dengan 7,78 tahun terus-menerus tanpa dimatikan. Jika diasumsikan pesawat TV tersebut hanya dinyalakan selama 12 jam/hari, maka energi listrik dari 1 g U235 bisa dipakai untuk mensuplai kebutuhan listrik pesawat TV selama lebih dari 15 tahun.

9.6 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) menyediakan sekitar 17 persen dari total tenaga listrik dunia. Beberapa negara membutuhkan tenaga nuklir yang lebih besar daripada negara lain. Di Prancis, menurut International Atomic Energy Agency (IAEA), 75 persen tenaga listriknya dihasilkan oleh reaktor nuklir. Jumlah pembangkit tenaga listrik di dunia diperkirakan lebih dari 400 buah dengan 100 buah di antaranya berada di Amerika Serikat (Elsan Januar, 2012)

1. Desain PLTN

Salah satu jenis PLTN adalah Pressurized Water Reactor (PWR), Reaktor jenis ini adalah reaktor paling umum, 230 PLTN di seluruh dunia menggunakan jenis ini (Elsan Januar, 2012)



Gambar 9.3:Salah satu desain PLTN (Sumber: Elsan Januar, 2012)
Lihat, air yang bersuhu tinggi dan yang bersentuhan langsung dengan bahan bakar Uranium (warna merah) selalu berada di dalam containment, containmentnya sendiri dibuat dengan bahan struktur

yang tidak mampu ditembus oleh radiasi yang dipancarkan saat terjadi reaksi inti. di dalam reactor vessel juga terdapat control rod yang berfungsi sebagai batang pengendali reaksi inti.

2. Prinsip Kerja PLTN

Proses kerja PLTN sebenarnya hampir sama dengan proses kerja pembangkit listrik konvensional seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), yang umumnya sudah dikenal secara luas. Yang membedakan antara dua jenis pembangkit listrik itu adalah sumber panas yang digunakan. PLTN mendapatkan suplai panas dari reaksi nuklir, sedang PLTU mendapatkan suplai panas dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara atau minyak bumi.

Reaktor daya dirancang untuk memproduksi energi listrik melalui PLTN. Reaktor daya hanya memanfaatkan energi panas yang timbul dari reaksi fisi, sedang kelebihan neutron dalam teras reaktor akan dibuang atau diserap menggunakan batang kendali. Karena memanfaatkan panas hasil fisi, maka reaktor daya dirancang berdaya thermal tinggi dari orde ratusan hingga ribuan MW. Proses pemanfaatan panas hasil fisi untuk menghasilkan energi listrik di dalam PLTN adalah sebagai berikut:

- a. Bahan bakar nuklir melakukan reaksi fisi sehingga dilepaskan energi dalam bentuk panas yang sangat besar.
- b. Panas hasil reaksi nuklir tersebut dimanfaatkan untuk menguapkan air pendingin, bisa pendingin primer maupun sekunder bergantung pada tipe reaktor nuklir yang digunakan.
- c. Uap air yang dihasilkan dipakai untuk memutar turbin sehingga dihasilkan energi gerak (kinetik).
- d. Energi kinetik dari turbin ini selanjutnya dipakai untuk memutar generator sehingga dihasilkan arus listrik.

Secara ringkas dan sederhana, rancangan PLTN terdiri dari air mendidih, boiling water reactor bisa mewakili PLTN pada umumnya, yakni setelah ada reaksi nuklir fisi, secara bertubi-tubi, di dalam reaktor, maka timbul panas atau tenaga lalu dialirkanlah air di dalamnya. Kemudian uap panas

masuk ke turbin dan turbin berputar poros turbin dihubungkan dengan generator yang menghasilkan listrik.

9.7 Potensi Energi Nuklir di Indonesia

Sejarah pemanfaatan energi nuklir melalui Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dimulai beberapa saat setelah tim yang dipimpin Enrico Fermi berhasil memperoleh reaksi nuklir berantai terkendali yang pertama pada tahun 1942. Reaktor nuklirnya sendiri sangat dirahasiakan dan dibangun di bawah stadion olah raga Universitas Chicago. Mulai saat itu manusia berusaha mengembangkan pemanfaatan sumber tenaga baru tersebut. Namun pada mulanya, pengembangan pemanfaatan energi nuklir masih sangat terbatas, yaitu baru dilakukan di Amerika Serikat dan Jerman. Tidak lama kemudian, Inggris, Perancis, Kanada dan Rusia juga mulai menjalankan program energi nuklirnya.

Lalu bagaimana dengan Indonesia, Indonesia memiliki cadangan uranium 53 ribu ton yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), yakni sebanyak 29 ribu ton di Kalimantan Barat dan 24 ribu ton sisanya ada di Bangka Belitung. Selain itu Papua juga diindikasikan memiliki cadangan uranium yang cukup besar. Tapi soal ini masih akan diteliti dulu (BATAN, 2015).

Perkiraan bahwa Pulau Papua menyimpan cadangan uranium atau bahan baku nuklir dalam jumlah besar didasarkan pada kesamaan jenis batuan Papua dengan batuan Australia yang telah diketahui menyimpan cadangan uranium terbesar di dunia (BATAN, 2015). Jika suatu PLTN seukuran 1.000 MW membutuhkan 200 ton Uranium per tahun, maka dengan cadangan di Kalbar saja yang mencapai 29 ribu ton Uranium berarti bisa memasok Uranium selama 145 tahun.

Proses rencana pembangunan PLTN di Indonesia cukup panjang. Tahun 1972, telah dimulai pembahasan awal dengan membentuk Komisi Persiapan Pembangunan PLTN. Komisi ini kemudian melakukan pemilihan lokasi dan tahun 1975 terpilih 14 lokasi potensial, 5 diantaranya terletak di Jawa Tengah. Lokasi tersebut diteliti Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) bekerjasama dengan NIRA dari Italia. Dari keempat belas lokasi tersebut, 11 lokasi di pantai utara dan 3 lokasi di pantai selatan.

Tenaga nuklir diharapkan bisa menjadi sumber energi masa depan Indonesia. Karena tenaga nuklir memiliki manfaat yang sangat banyak. Dengan adanya tenaga nuklir, diyakini bisa menambah pasokan listrik di Indonesia, terutama di pulau padat penduduk seperti yang ada di pulau Jawa. Selain itu diharapkan masyarakat Indonesia tidak memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap petroleum, dengan demikian Indonesia dapat memproduksi minyak bumi lebih banyak. Selain itu, emisi gas dapat berkurang. Tenaga nuklir juga dimanfaatkan pada bidang-bidang lainnya seperti bidang pertanian, peternakan, hidrologi, industri, kesehatan, penggunaan zat radioaktif dan sinar-X untuk radiografi, logging, gauging, analisa bahan, kaos lampu, perunut (tracer) dan lain-lain. Dalam bidang penelitian terutama banyak dilakukan oleh BATAN mulai dari skala kecil sampai dengan skala besar. Pemanfaatan dalam bidang kesehatan dapat dilihat seperti untuk diagnosa, kedokteran nuklir, penggunaan untuk terapi di mana radiasi digunakan untuk membunuh sel-sel kanker.

Bab 10

Kebijakan dan Strategi Pengembangan Energi di Indonesia

10.1 Kondisi Energi Di Indonesia

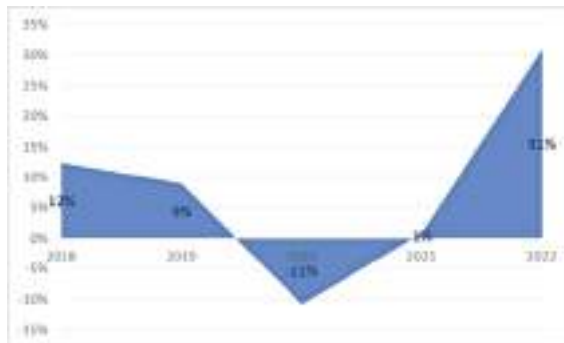
10.1.1 Konsumsi Energi

Pembangunan infrastruktur diukur berdasarkan indeks kumulatif, serta indeks infrastruktur seperti infrastruktur Transportasi, Energi, Keuangan, dan Teknologi Informasi(Sun et al., 2022). Seluruh proses produksi industri dan pertumbuhan ekonomi negara didorong oleh infrastruktur transportasi, energi, keuangan, dan Teknologi informasi, yang juga menyebabkan konsumsi sumber daya lebih tinggi; namun, perubahan teknis dapat menetralsir atau memisahkan dampak-dampak yang menghabiskan sumber daya. Oleh karena itu, kebutuhan energi menjadi faktor penting pada Pembangunan berkelanjutan suatu negara.

Setiap negara di dunia khususnya negara berkembang sangat penting untuk menjadikan energi sebagai pendorong Pembangunan ekonomi. Kebutuhan akan energi yang besar menuntut adanya ketergantungan akan energi yang

semakin besar pula. Dependensi energi bagi setiap negara perlu dikontrol agar tercipta efektifitas dan efisiensi dalam pemanfaatannya. Kebutuhan dan penggunaan energi yang bersumber dari coal, Crude Oil, gas dan energi fosil lainnya yang dapat berdampak negatif bagi alam sekitar. Konsumsi energi telah menimbulkan perubahan iklim dunia(Ula, 2019).

Berdasarkan data yang dihimpun dari Kementerian ESDM, Konsumsi Energi Indonesia pada tahun 2022 mencapai 1.113.656.743 Barrel Oil Ekuivalen (BOE). Konsumsi energi tersebut merupakan total konsumsi energi terbesar dalam lima tahun terakhir. Pada tahun 2020 terjadi penurunan konsumsi energi sebesar 11% dari tahun sebelumnya akibat Pandemi COVID-19. Pada tahun 2021 kembali terjadi kenaikan konsumsi energi sebesar 1% akibat membaiknya kondisi pandemic. Perekonomian pasca-pandemic yang sudah membaik, berdampak langsung pada konsumsi energi pada tahun 2022, kenaikan konsumsi energi sebesar 31% dibandingkan dengan pada tahun sebelumnya.



Gambar 10.1: Konsumsi Energi Indonesia (Kementerian ESDM, 2022)

Pada tahun 2022, sektor industri memiliki konsumsi energi terbesar dibandingkan sektor-sektor lainnya yakni sebesar 481.161.829 BOE (sekitar 43%) dari total penggunaan energi Indonesia. Pada sektor Transportasi yaitu 428.606.223 BOE (sekitar 39%) dari total total penggunaan energi Indonesia. Sektor selanjutnya adalah sektor rumah tangga sekitar 13%, Sektor Komersial mencapai 4% serta sektor lainnya sebesar 1% dari total konsumsi energi nasional. Konsumsi energi sektor industri yang terbesar dari total total penggunaan energi Indonesia. Hal tersebut merupakan pencapaian yang pertama sejak 5 tahun terakhir. Hal tersebut mengindikasikan peningkatan pertumbuhan ekonomi pada sektor industri Indonesia.



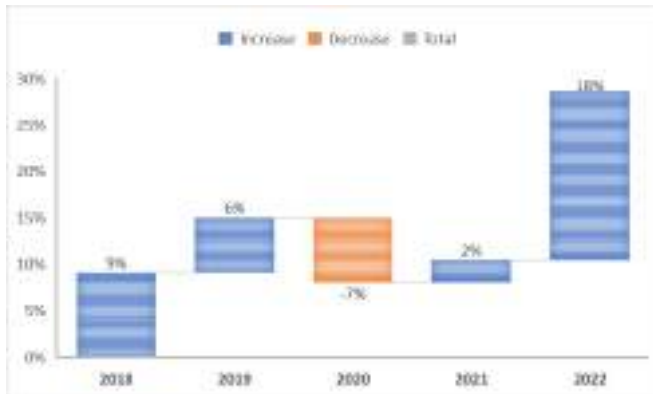
Gambar 10.2: Konsumsi Energi Nasional Dari Tiap Sektor

Total Konsumsi Energi Final adalah jumlah konsumsi energi yang berasal dari beberapa area yaitu industry, ekonomi, rumah tangga dan transportasi serta konsumsi non-energi lainnya. Konsumsi rumah tangga mengacu pada seluruh penggunaan energi oleh Masyarakat di lingkungan rumah, tidak termasuk konsumsi kendaraan. Konsumsi komersial mengacu pada konsumsi energi oleh unit komersial Masyarakat, pemerintah daerah, pemerintah pusat, area Pendidikan, pariwisata serta Kesehatan dll. Konsumsi industri mengacu pada konsumsi energi oleh subsektor industri berikut (tidak termasuk transportasi): manufaktur, dan non-manufaktur, pertambangan, bahan kimia, makanan, garmen, dll. Konsumsi transportasi mengacu pada konsumsi energi oleh semua aktivitas transportasi di semua area baik perekonomian maupun non-ekonomi. Konsumsi subsektor perikanan, konstruksi, dan pertambangan juga termasuk dalam konsumsi transportasi. Konsumsi non-energi mengacu pada konsumsi energi untuk penggunaan non-energi, seperti hidrokarbon atau batubara yang digunakan sebagai minyak pelumas atau bahan baku, methanol, benzene serta amonia.

10.1.2 Produksi dan sumber Energi

Pertumbuhan penduduk dan ekonomi menjadi dasar pemikiran yang dibangun untuk mendapatkan gambaran profil mengenai pemenuhan kebutuhan energi secara nasional. Penyediaan energi primer yang memuat antara lain kapasitas energi, penyediaan energi fosil serta kebijakan embargo ekspor batubara dan gas bumi. Penyediaan energi primer berdasarkan asumsi kemampuan pembangkit energi sesuai RUPTL yang menghasilkan kebutuhan energi untuk setiap pembangkit.

Suplai energi Indonesia pada mengalami kenaikan cukup signifikan pada tahun 2022 dari tahun sebelumnya yaitu 18% dengan nilai sebesar 1.831.619.126 BOE. Produksi energi Indonesia mengalami peningkatan terbesar dalam 5 tahun terakhir. Pasokan energi primer menjabarkan tentang ketersediaan jumlah energi di setiap daerah. Keberadaan penyediaan energi primer mencakup kapasitas energi yang dihasilkan, diimpor dan atau diekspor.



Gambar 10.3: Suplai Energi Indonesia (Kementrian ESDM, 2022)

Bauran energi primer masih didominasi oleh batubara sebesar 41%, disusul minyak bumi sebesar 30%, gas alam 13% dan EBT sebesar 16%. Energi baru terbarukan merupakan akumulasi sumber energi jenis Hydropower, geothermal, Sel surya, Angin, dan biogas.



Gambar 10.4: Bauran Energi Primer Indonesia Tahun 2022

10.2 Kebijakan Pemerintah dalam Pengembangan Energi

Pemerintah Indonesia telah melakukan Langkah-langkah untuk memproteksi sektor energi nasional. Kebijakan-kebijakan telah diambil dalam Upaya untuk mencapai kemandirian dan ketahanan energi seperti mengurangi ketergantungan sektor energi, efisiensi produksi dan konsumsi energi, kebijakan zero-carbon untuk alam dan lingkungan sekitar. Hal tersebut untuk mewujudkan rasionalisasi penyediaan energi. Penerapan kebijakan-kebijakan tersebut berakibat pada perubahan laju pertumbuhan suplai energi primer. Pada beberapa kurun waktu terakhir, Pemerintah telah mengalihkan subsidi energi pada kebijakan yang lebih berdampak pada Masyarakat secara langsung. Kenaikan harga BBM dan listrik diharapkan tidak menjadi tekanan bagi pertumbuhan ekonomi nasional yang berdampak secara langsung bagi Masyarakat. Aktivitas ekonomi dalam negeri tetap berjalan seiring peningkatan kebutuhan energi fosil yang semakin besar.

10.2.1 Kebijakan Energi Nasional

Pemerintah Indonesia telah berupaya mereformasi subsidi bahan bakar fosil dan meningkatkan pengembangan energi terbarukan, Indonesia tidak lebih baik dibandingkan negara-negara pembanding dan harus belajar dari negara lain (Prancis, Spanyol, dan Brasil). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian lebih banyak subsidi BBM menekan pengembangan EBT dan transisi energi suatu negara. Oleh karena itu, reformasi subsidi bahan bakar fosil akan dilakukan secara efektif melalui regulasi energi berimbang dengan pendekatan day-watchman (Sumarno et al., 2022).

Pemerintah Indonesia telah menjabarkan rencana, Pelaksanaan dan pengelolaan energi nasional dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). RUEN adalah amanat dan implementasi dari Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. UU Nomor 30 Tahun 2007 menugaskan Dewan Energi Nasional (DEN) untuk merancang, dan merumuskan kebijakan nasional terkait energi di Indonesia. Kebijakan-kebijakan nasional tersebut kemudian ditetapkan pemerintah Indonesia atas persetujuan DPR sebagai dewan legislatif. Selain itu, DEN merumuskan dan menetapkan kebijakan dalam penanggulangan jikalau terjadi krisis energi yang menyerang bangsa. Dan juga DEN diberi kewenangan untuk melakukan pengawasan akan

kebijakan-kebijakan terkait energi yang telah ditetapkan pemerintah. Kebijakan tersebut menyebabkan dapat melakukan aktivitas lintas sektor karena kebijakan energi merupakan kebijakan yang lintas sektoral dalam implementasinya.

UU nomor 30 Tahun 2007 mengamanatkan bagi Pemerintah Indonesia untuk menyusun rancangan RUEN berdasarkan kebijakan energi nasional. KEN ditetapkan melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014. Penerbitan PP No. 79 Tahun 2014 berdasarkan pasal 11 ayat 2 UU Nomor 30 Tahun 2007.



Gambar 10.5: Ilustrasi Proses Kebijakan Energi Nasional (DEN, 2017)

Berkeadilan nasional, sustainable dan berwawasan lingkungan merupakan 3 dasar dalam pengelolaan energi nasional. Hal tersebut dimaksudkan sebagai modal Pembangunan nasional yang ditujukan sebesar-besarnya untuk kemakmuran bangsa dan negara. Pengelolaan energi nasional harus dioptimalkan penggunaannya yang dapat berdampak langsung bagi Pembangunan ekonomi Indonesia, penyediaan lapangan pekerjaan dan nilai tambah ekonomi nasional (Ramadani, 2018).

Pengelolaan energi nasional dimaksudkan untuk mencapai kemandirian nasional dalam sektor pengelolaan energi nasional. Selain itu, adanya jaminan suplai energi nasional yang berkesinambungan. Pengelolaan energi diharapkan dapat menjadi jaminan pengelolaan sumber daya energi khususnya pada level pemanfaatan energi secara efisien dan sebagainya. Kesejahteraan Masyarakat merupakan sebuah tujuan utama namun juga mengedepankan sektor lingkungan hidup melalui kebijakan transisi EBT di Indonesia. Kebijakan

energi nasional dikembangkan sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai kerangka hukum bagi kebijakan energi pemerintah. Tujuan dari akuisisi KEN adalah agar dapat menjadi rujukan dalam organisasi dan manajemen energi Indonesia di masa depan.

PP Nomor 79 tahun 2014 mengatur arah dan kebijakan nasional tentang energi. Kebijakan yang memuat tentang kebijakan utama dan kebijakan pendukung yang dimulai pada tahun 2014-2050. Ketahanan energi nasional yang berkelanjutan merupakan manifestasi pedoman energi nasional dalam bentuk kebijakan energi nasional (KEN).



Gambar 10.6: Ilustrasi Target Bauran Energi Nasional (DEN, 2017)

Kebijakan Energi Nasional menetapkan target dan sasaran dalam hal produksi dan penggunaan energi primer dalam negeri. Target tersebut misalnya pemenuhan produksi energi primer sebesar 1.000 MTOE pada tahun 2050. Dalam hal pembangkit energi listrik KEN menetapkan sasaran yaitu penyediaan kapasitas energi listrik sebesar 430 GW pada tahun 2050. Target dan sasaran penyediaan energi nasional secara eksplisit dijabarkan dalam PP No. 79 Tahun 2014 (Indonesia, 2014; Ramadani, 2018).

10.2.2 Kebijakan Energi Terbarukan

Pertumbuhan ekonomi yang tidak terkendali berdampak buruk terhadap ekosistem alam sekitar di Indonesia. Pertumbuhan ekonomi yang lebih tinggi di Indonesia dikaitkan dengan penurunan kapasitas negara untuk melindungi sumber daya alamnya secara berkelanjutan. Indonesia adalah salah satu negara dengan perekonomian terbesar di dunia tidak mengubah kenyataan yang ada

tentang perlindungan SDA(Raihan et al., 2023). Kemandirian dan Ketahanan akan energi dinilai menjadi hal yang krusial karena energi merupakan faktor kunci dalam perekonomian khususnya dalam penyediaan barang dan jasa. Keberadaan rintangan dalam hal penyediaan energi seperti BBM dan Listrik dapat berdampak pada produktivitas dan percepatan ekonomi baik daerah maupun nasional. Secara simultan dampak tersebut dapat berakibat pada ketidak tercapainya target pertumbuhan ekonomi nasional. Oleh karena itu, menjaga ketersediaan dan produksi energi menjadi fokus negara di dunia termasuk negara Indonesia.

Indonesia mempunyai sumber daya batubara, namun kekurangan batubara berkualitas tinggi. Dengan karakteristik material dan penggunaan akhir yang berbeda-beda, minyak dan batubara masih merupakan pengganti yang tidak sempurna. Kedua bahan bakar fosil ini menantang janji *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia untuk memajukan bauran energi berkelanjutan dan menjadi carbon-neutral pada tahun 2050(Rahman et al., 2021). Energi terbarukan adalah energi yang diperoleh dari proses alam yang tidak melibatkan konsumsi sumber daya yang dapat habis seperti bahan bakar fosil dan uranium. Energi terbarukan selain sumber energi utama seperti gas alam, minyak bumi, dan batu bara. Meskipun tingkat pertumbuhan energi terbarukan tinggi, energi terbarukan masih hanya mewakili sebagian kecil dari energi global. Sumber energi terbarukan saat ini memasok antara 15% dan 20% dari total kebutuhan energi dunia(Kusumadewi & Limmeechokchai, 2017).

Potensi energi terbarukan Indonesia mengalami peningkatan dari dalam beberapa tahun terakhir dibandingkan pada tahun sebelumnya, pada tahun 2022 energi terbarukan mensupplay energi sebesar 16% dari total pasokan energi primer di Indonesia. Data menunjukkan bahwa Biofuel, biomassa dan energi air merupakan tiga sumber EBT yang terbesar. Kebijakan energi terbarukan Indonesia diatur dalam Undang-Undang Energi No. 30 Tahun 2007. Khususnya terkait energi terbarukan, undang-undang tersebut mengatur bahwa pemerintah pusat dan daerah harus memperluas pasokan energi baru terbarukan (EBT) sesuai kewenangannya.

Pengembangan EBT telah diupayakan pemerintah melalui beberapa regulasi yang telah ditetapkan. Regulasi tersebut diantaranya: pemerintah menyadari perlunya pelaksanaan percepatan infrastruktur dalam penyediaan energi listrik khususnya yang berkaitan langsung EBT kelistrikan. Hal tersebut tertuang dalam PP No. 4 Tahun 2016 tentang percepatan infrastruktur kelistrikan. Pemerintah mengeluarkan kebijakan melalui peraturan Menteri keuangan

No.177/PMK.011/2007 tentang Pembebasan Bea Masuk atas Impor Barang untuk Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi serta Panas Bumi. PMK tersebut merupakan regulasi yang mendukung peningkatan kapasitas energi. Demi mendukung penggunaan sumber EBT, pemerintah melalui Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Penerbitan permen tersebut untuk mempercepat praktik efisiensi dengan harapan menekan harga listrik yang semakin mahal (Sekjen DEN, 2017).

Kebijakan pemerintah dalam penyediaan EBT terus dilakukan pembaruan. Kebijakan yang terbaru adalah Peraturan Presiden nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Perpres tersebut selain menjabarkan tentang KEN, juga memerinci kebijakan penurunan emisi karbon. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan focus bagi setiap negara saat ini salah satunya Indonesia. Kebijakan tersebut mengatur tentang Rencana Proyek Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL), dan perancangan roadmap percepatan berakhirnya pengoperasian PLTU. Kebijakan-kebijakan tersebut menunjukkan dukungan pemerintah Indonesia terhadap pengembangan EBT dalam negeri.

Sumber EBT apabila dikelola dengan baik akan menghasilkan sustainable energi nasional. Sumber EBT berupa Geothermal, energi angin, bioenergy, energi surya dan energi air (energi hidro dan gelombang laut). Perpres tersebut juga mengatur tentang batas harga EBT menurut jenis teknologi, faktor lokasi, dan metode penetapan harga. Secara garis besar, Perpres 112 Tahun 2022 mendorong penutupan Pembangunan baru PLTU batubara yang dapat berdampak negatif bagi lingkungan. Koordinasi dari berbagai stakeholder seperti pemerintah daerah untuk dapat mendukung percepatan EBT di daerah.

10.3 Strategi Pengelolaan Energi Nasional

Pengelolaan energi fosil dan peningkatan EBT merupakan dua strategi utama dalam manajemen energi nasional. Kebijakan-kebijakan yang telah ada seperti UU No. 30 Tahun 2007, PP No. 79 Tahun 2014, Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 dan Peraturan Presiden nomor 112 Tahun 2022 merupakan

regulasi yang ditetapkan pemerintah yang memuat tentang manajemen dan strategi pengelolaan energi nasional.

Strategi pengelolaan energi nasional juga telah dipaparkan dalam PP nomor 79 tahun 2014 (Indonesia, 2014). Kemandirian dan ketahanan energi yang merupakan tujuan dari KEN dapat tercapai melalui beberapa strategi yaitu:

1. Sumber Daya Energi tidak dijadikan sebagai komoditas ekspor semata tetapi sebagai modal pembangunan nasional;
2. Kemandirian Pengelolaan Energi;
3. Ketersediaan Energi dan terpenuhinya kebutuhan Sumber Energi dalam negeri;
4. Pengelolaan Sumber Daya Energi secara optimal, terpadu, dan berkelanjutan;
5. Pemanfaatan Energi secara efisien di semua sektor;
6. Akses untuk Masyarakat terhadap Energi secara adil dan merata;
7. Pengembangan kemampuan teknologi, Industri Energi, dan jasa Energi dalam negeri agar mandiri dan meningkatkan kapasitas sumber daya manusia;
8. Terciptanya lapangan kerja;
9. Terjaganya kelestarian fungsi Lingkungan Hidup.

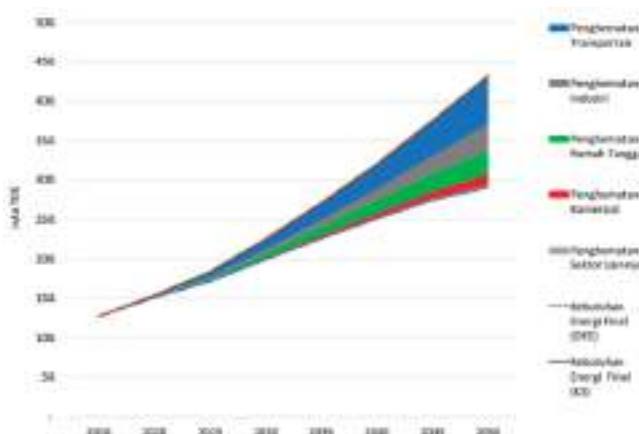
Berdasarkan Perpres tentang RUEN, Pemerintah Indonesia menetapkan prioritas dalam pengembangan energi nasional yaitu peningkatan kapasitas EBT dengan memperhatikan aspek ekonomi. Selanjutnya strategi dalam hal pengurangan penggunaan minyak bumi sebagai sumber energi. Pemerintah juga mengoptimalkan pemanfaatan gas bumi dan energi baru ; serta 4) Menggunakan batubara (gasifikasi batubara dan batubara cair) sebagai pasokan energi nasional (Widyaningsih, 2017).

Produksi EBT telah meningkat lebih dari 14% dari tahun ke tahun. Pada akhir tahun 2035, diperkirakan energi panas bumi untuk pembangkit listrik akan menjadi aspek utama, diikuti oleh pembangkit listrik tenaga air, biofuel, dan biomassa. Jenis EBT seperti CBM (Coal Bed Methane), CTL (Coal To Liquid) , energi angin, energi surya, Energi nuklir, dan kelautan akan mulai mengisi energi primer pada tahun 2035 (Sugiyono, 2016).

Perpres RUEN menetapkan beberapa langkah untuk pembangunan pembangkit EBT di Indonesia yaitu: pembentukan badan usaha yang ditunjuk

husus untuk mengelola, mengembangkan dan memanfaatkan EBT. Selain itu, pemerintah melakukan pengaturan terhadap harga EBT. Pengelolaan subsidi energi pada daerah dalam bentuk APBD untuk mendorong peran daerah bagi percepatan EBT. Strategi yang memuat kelistrikan nasional yaitu elektrifikasi melalui infrastruktur EBT bagi daerah yang belum teraliri listrik. Pemerintah juga mendorong adanya penyediaan listrik dengan kapasitas kecil bagi daerah yang tidak terjangkau oleh perluasan jaringan listrik.

Penggunaan sumber energi fosil semakin besar seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat Indonesia pada berbagai sektor. Hal tersebut membuat cadangan sumber energi fosil kian menipis. Seiring dengan semakin menipisnya cadangan minyak nasional Perpres RUEN menetapkan kebijakan untuk mengurangi penggunaan dan ketergantungan minyak terhadap impor. Ke depan, pangsa penggunaan minyak dalam bauran energi primer diperkirakan akan mencapai 24,7% pada tahun 2025 dan terus menurun menjadi 19,5% pada tahun 2050(Widyaningsih, 2017).



Gambar 10.7.: Dampak Penghematan Energi Final(Sekjen DEN, 2017)

Transisi energi dilakukan untuk mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil. Transisi energi rendah karbon pada energi fosil dalam bentuk penerapan clean technology, percepatan pengembangan EBT dengan kendaraan listrik, dan pengembangan smart grid. Salah satu strategi Indonesia dalam kebijakan energi nasional adalah penghematan Energi. Penghematan energi merupakan proses efisiensi energi secara wajar tanpa mengurangi konsumsi utama akan energi. Upaya penghematan energi diterapkan pada seluruh tahapan penggunaan, mulai dari penggunaan sumber

energi hingga penggunaan akhir oleh konsumen. Penggunaan teknologi yang efisien dan membudayakan gaya hidup hemat energi merupakan wujud nyata strategi yang diterapkan. Sektor transportasi dan industri masih menjadi sektor yang paling banyak menggunakan energi.

Peningkatan efisiensi energi di sektor transportasi akan mengurangi 34% permintaan energi final (Traivivatana et al., 2017). Efisiensi energi yang diterapkan pada sektor transportasi, industri, rumah tangga, komersial dan lainnya secara maksimum dapat mendorong efisiensi dalam bidang energi setiap sektor mencapai 40% pada tahun 2050 (Sekjen DEN, 2017).

Bab 11

Investasi dan Kemitraan Dalam Pengembangan Pembangkit Listrik

11.1 Pendahuluan

11.1.1 Latar Belakang

Perpres No. 5 Tahun 2006 menyatakan bahwa pada tahun 2025 tercapai elastisitas energi kurang dari 1 (satu) dan energi mix primer yang optimal dengan memberikan peranan yang lebih besar terhadap sumber energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi. Dengan demikian, BP-PEN 2005 – 2025 perlu direvisi untuk disesuaikan dengan Perpres Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) tersebut.

Dengan telah disahkannya Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi dan sebagaimana tertuang dalam Perpres Nomor 5 Tahun 2006 yang mengamanatkan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral menetapkan Blueprint Pengelolaan Energi Nasional. Dengan demikian maka blueprint ini

akan menjadi salah satu acuan pengembangan energi nasional untuk mendukung ketersediaan sumber daya listrik untuk industri dan Masyarakat.

Listrik menjadi komponen krusial masyarakat seiring dengan perkembangan teknologi. Berdasarkan data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS), Masyarakat Indonesia mengonsumsi listrik per kapita sebesar 1,09 MWH/Kapita pada 2020. Data dari BPS tersebut juga menunjukkan terdapat kenaikan konsumsi listrik per kapita setiap tahunnya. Sampai saat ini, penyediaan tenaga listrik yang di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit listrik tenaga fosil se banyak 87,4%. Pembangkit listrik tenaga fosil memberi kontribusi sebesar 33,1 miliar ton karbon dioksida sebagai polusi udara di seluruh dunia.

Berkaitan dengan hal tersebut, negara-negara yang tergabung dalam Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim (United Nations Framework Convention on Climate Change/UNFCCC) menerapkan Nationally Determined Contributions (NDC) yang bertujuan untuk menurunkan polusi karbon suatu negara hingga tingkat tertentu.

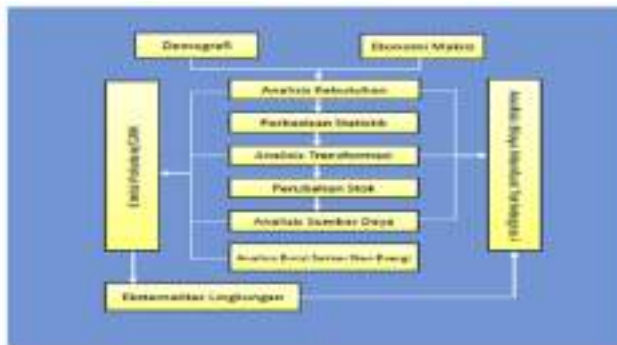
Indonesia sendiri memiliki target pengurangan emisi Gas Rumah Kaca sebesar 29% di bawah Business As Usual (BAU) pada tahun 2030 dan sampai dengan 41% dengan bantuan internasional.

Salah satu metode terpenuhinya NDC oleh Indonesia adalah meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan dalam penyediaan listrik. Hal ini menyebabkan ramainya pencanangan untuk investasi Pembangkit Listrik Tenaga Energi Baru Terbarukan (PLT-EBT). PLTEBT merupakan pembangkit listrik yang menggunakan tenaga energi terbarukan seperti sinar matahari, angin, tenaga air, biomassa, biogas, sampah kota, panas bumi, gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, dan bahan bakar nabati cair. PLT-EBT menjadi harapan bagi Indonesia untuk menggantikan pembangkit listrik tenaga fosil sehingga akan mengurangi tingkat emisi karbon Indonesia.

Penyediaan listrik dengan PLT-EBT dalam menyediakan listrik bagi masyarakat Indonesia tidak semudah itu untuk terlaksana karena salah satu permasalahannya adalah biaya investasi untuk pembangunan PLT-EBT membutuhkan biaya pembangunan infrastruktur kelistrikan yang sangat besar. Hal ini berakibat pada risiko finansial yang tinggi, termasuk pengembalian investasi yang kurang menarik.

11.1.2 Proyeksi Kebutuhan Energi

Proyeksi kebutuhan sektor energi di Indonesia dimodelkan dengan suatu software aplikasi yang bernama Low Emissions Analysis Platform (LEAP). LEAP adalah alat pemodelan terintegrasi berbasis skenario yang banyak digunakan untuk analisis kebijakan energi dan kajian mitigasi perubahan iklim, baik sektor energi maupun non-energi. LEAP menjadi standar defacto bagi negara-negara yang melakukan perencanaan sumber daya terintegrasi, kajian mitigasi gas rumah kaca (GRK), dan strategi pembangunan rendah karbon. Banyak negara telah memilih menggunakan LEAP untuk melaporkan rencana pengurangan GRK dalam Nationally Determined Contribution (NDC) ke United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). LEAP mendukung berbagai metodologi pemodelan yang berbeda. Kajian ini menggunakan pendekatan bottom-up/end-use untuk sisi kebutuhan energi dan pendekatan simulasi dan optimasi untuk sisi penyediaan energi. Penerapan optimasi hanya dibatasi pada sektor tenaga listrik akibat teknologi pembangkit yang beragam, dari energi fosil hingga energi baru terbarukan (EBT).



Gambar 11.1: Skema Permodelan Energi (Model LEAP)

11.2 Metodologi Analisis Dan Penyediaan Energi

11.2.1 Metodologi Analisis Kebutuhan Energi

Kebutuhan energi menurut sektor seperti industri, rumah tangga, transportasi, komersial, dan lainnya diperinci lagi menjadi sub sektor, energi yang digunakan, teknologi pengguna akhir, dan peralatan. Faktor penentu utama proyeksi kebutuhan energi adalah pertumbuhan ekonomi (PDB) dan pertumbuhan penduduk. Selain itu, urbanisasi, perubahan struktur ekonomi, difusi teknologi dan kebijakan pemerintah juga ikut memberikan kontribusi terhadap proyeksi kebutuhan energi kedepan. Masing-masing sektor menggunakan pendekatan analisis yang berbeda disesuaikan dengan karakter sektor tersebut dan ketersediaan data



Gambar 11.2: Metodologi Analisis Kebutuhan Energi

11.2.2 Penyediaan Energi Saat Ini

Penyediaan energi saat ini masih didominasi oleh energi fosil. Energi fosil yang tumbuh paling pesat adalah batu bara karena sektor pembangkit listrik didominasi oleh PLTU batu bara. Selain itu, batu bara juga digunakan sebagai bahan bakar di sektor industri. Hal ini menyebabkan batu bara merupakan pangsa penyediaan energi primer kedua setelah minyak bumi.

Pangsa minyak bumi mengalami penurunan dibandingkan tahun sebelumnya. Namun ketergantungan penggunaan bahan bakar minyak (BBM) terutama di sektor transportasi masih tinggi, karena teknologi transportasi berbasis listrik

dan gas masih belum mampu menggeser dominasi teknologi transportasi berbasis BBM.



Gambar 11.3: Penyediaan Energi (Tahun 2018)

11.3 Investasi Dan Kemitraan Dalam Pengembangan Pembangkit Listrik

11.3.1 Investasi dan Kemitraan Kelistrikan Skema “ Build-Own-Operate” atau (BOO)

Sebelum diterbitkannya Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 4 Tahun 2020 (Permen ESDM Nomor 4 Tahun 2020), skema Kerja Sama Pemerintah Badan Usaha (KPBU) dalam ketenagalistrikan masih menggunakan skema Build-Operate-Own-Transfer (BOOT) yang berakibat pada sifat bankable dari PLT-EBT untuk mendapatkan pinjaman untuk pendanaan proyek menjadi rendah. Rendahnya bankability dari proyek PLT-EBT yang menggunakan skema BOOT berangkat dari pengalihan aset dari Badan Usaha Pelaksana (BUP), dalam ketenagalistrikan yang disebut Independent Power Producer (IPP), kepada PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) menyebabkan pihak bank selaku pemberi pinjaman dana tidak memiliki jaminan bahwa IPP dapat mengembalikan pinjaman karena agunannya, dalam hal ini aset dan tanah dari proyek, saat dilakukan penyerahan.

Permen ESDM Nomor 4 Tahun 2020 menghadirkan solusi untuk merealisasikan proyek PLT-EBT menjadi bankable dengan memberikan opsi

kerjasama melalui skema Build-Own-Operate (BOO). Skema BOO dianggap sebagai solusi atas bankability dari proyek PLT-EBT karena memberikan agunan yang dapat dijaminkan kepada bank. Hal ini dikarenakan skema BOO memberikan kepemilikan aset dan tanah kepada IPP sehingga dapat menjadi jaminan atas pinjaman yang akan diberikan bank.

Di Indonesia, skema BOO dalam ketenagalistrikan telah diterapkan sejak sebelum diterbitkannya Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2017 (Permen ESDM Nomor 10 Tahun 2017). Hal ini dikarenakan sebelum terbitnya Permen ESDM Nomor 10 Tahun 2017, tidak diatur secara rigid terkait skema kerja sama antara PLN dengan IPP.

Kekosongan dalam peraturan tersebut berakibat pada IPP memiliki banyak alternatif skema kerja sama termasuk melaksanakan proyek dengan skema BOO. Sementara itu, pasal 2 ayat (2) Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 1992 (Keppres Nomor 37 Tahun 1992) menyatakan bahwa perusahaan penyedia tenaga listrik oleh swasta diutamakan pola pelaksanaan BOO. Model skema BOO sebagai skema kerja sama KPBU menghadirkan potensi sekaligus kekhawatiran pasal 33 ayat (2) Undang-undang Dasar Republik Indonesia 1945 (UD RI 1945) mengatur bahwa cabang produksi yang penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh negara. Pada pasal 3 ayat (1) jo. Pasal 4 (2) Undang-undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan (UU Nomor 20 Tahun 2009) mengatur bahwa penyedia tenaga listrik dikuasai oleh negara dan badan usaha swasta, koperasi, dan swadaya masyarakat dapat berpartisipasi dalam usaha penyedia tenaga listrik. Penyediaan tenaga listrik terdiri atas pembangkitan, transmisi, distribusi, dan/atau penjualan tenaga listrik.

Kegiatan usaha penyedia ketenagalistrikan dengan skema BOO, pada dasarnya dapat dibagi menjadi bundling dan unbundling. Bundling merupakan sistem kegiatan usaha penyedia tenaga listrik yang tidak terpisah antara usaha pembangkitan, transmisi, distribusi, dan penjualan listrik. Sedangkan unbundling merupakan pemisahan antara usaha pembangkitan, transmisi, distribusi, dan penjualan listrik. Model sistem unbundling karena pada subsistem pembangkitan tidak lagi dimungkinkan untuk dilakukan natural monopoly secara faktor ekonomis sebagai akibat dari perkembangan teknologi. Penerapan unbundling dalam ketenagalistrikan merupakan sistem

ketenagalistrikan yang banyak digunakan pada sistem ketenagalistrikan modern.

Unbundling memberikan kesempatan kompetisi sehingga muncul potensi didapatkannya harga yang kompetitif dan memacu kemajuan teknologi untuk efektivitas dalam bidang ketenagalistrikan. Namun, penerapan sistem unbundling berpengaruh pada kondisi penyediaan dan tarif listrik yang diberikan kepada konsumen. Sistem unbundling memberikan tarif listrik yang semakin besar mengingat masing-masing pengusaha di masing-masing jenis usaha, seperti pembangkitan, transmisi, dan distribusi, perlu mengambil keuntungan. Hal ini ditunjukkan pada penerapan unbundling di Uni Eropa yang menyebabkan kenaikan harga sebagai akibat dari liberalisasi pasar.

Di Indonesia, praktik unbundling diterapkan melalui Undang-undang Nomor 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan. Dalam Pasal 16 jo. Pasal 17 (1) Undang-undang Nomor 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan, kegiatan usaha penyediaan tenaga listrik dilakukan secara terpisah oleh badan usaha.

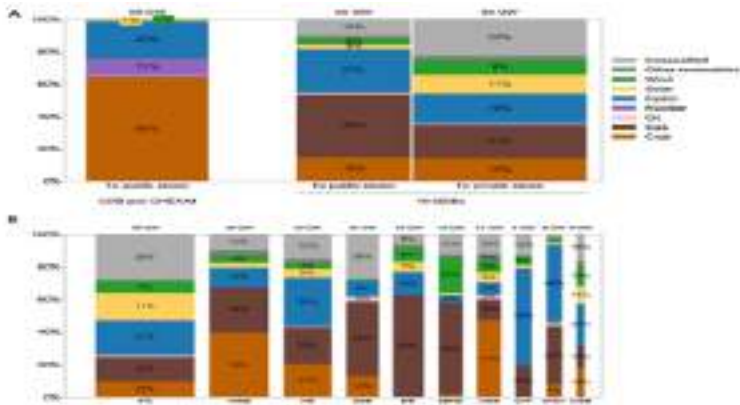
11.3.2 Investasi dan Kemitraan Kelistrikan di China

Untuk pertama kalinya, kontribusi pembiayaan Development Finance Institutions (DFI) untuk penambahan kapasitas pembangkit bahan bakar fosil dan teknologi terbaru di seluruh dunia dengan membangun database baru. Dengan memanfaatkan data pembiayaan daya komprehensif yang tersedia dari tahun 2000 s/d (18 Desember 2018) dan memetakan pembiayaan listrik DFI ke pembangkit listrik individu (stand alone). Kapasitas pembangkit listrik tambahan yang difasilitasi oleh pembiayaan luar negeri dari dua kebijakan nasional bank China, yaitu China Development Bank (CDB) dan Export-Import Bank of China (CHEXIM) atau Bank Ekspor-Impor China, serta mitra mereka yaitu DFI Jepang dan Korea Selatan, termasuk Japan Bank for International Cooperation (JBIC), atau Bank Jepang untuk Kerjasama Internasional (JBIC), dan Japan International Cooperation Agency (JICA) atau Badan Kerjasama Internasional, Korea Development Bank (KDB), dan Export-Import Bank of Korea (KEXIM) atau Bank Ekspor-Impor Korea.

Lebih lanjut analisis tentang pembiayaan pembangkit listrik tenaga batubara untuk diselidiki sejauh mana dukungan dana nasional DFI Asia Timur terhadap industri pembangkit listrik tenaga batu bara dalam negeri mereka untuk beroperasi dan mensuplai kebutuhan listrik di luar negeri. Selain itu, juga menilai efisiensi dan pengurangan polutan udara melalui perangkat

kontrol emisi pembangkit listrik batubara baru yang dibiayai oleh DFI nasional dan Multilateral Development Banks (MDB). Pada akhirnya mengevaluasi siklus hidup emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembangkit listrik baru yang dibiayai oleh DFI.

Dari hasil investigasi ditemukan pembangkit listrik baru di luar negeri yang difasilitasi oleh pembiayaan DFI yang dilakukan antara tahun 2013 dan 2015 dari China, Jepang, dan Korea Selatan lebih besar dari kontribusi MDB. Sejak 2015, pembiayaan DFI China terus meningkat sementara pembiayaan DFI Jepang dan Korea Selatan tetap stabil. Sementara pembiayaan listrik luar negeri Multilateral Development Banks (MDB) menjadi semakin terfokus pada energi terbarukan, sementara DFI nasional Asia Timur sebagian besar masih membiayai pembangkit listrik batubara.



Gambar 11.4: Penambahan Kapasitas Pembangkit Listrik Difasilitasi oleh Komitmen Pembiayaan antara 2006 dan 2015 oleh Dua DFI Tiongkok—CDB dan CHEXIM—dan oleh Sepuluh MDB Besar

11.3.3 Investasi dan Kemitraan Kelistrikan di Uni Eropa

Pembiayaan dan pemulihan biaya proyek hub-and-spoke mungkin dapat dilakukan di tingkat nasional, namun hal ini mungkin akan sangat membebani pembayar pajak dan tarif pemakai listrik, mengingat besarnya kebutuhan infrastruktur jaringan listrik lepas pantai dan pembangkit listrik lepas pantai, serta memberikan tekanan pada persyaratan ekuitas. Mengingat proyek hub-and-spoke di Laut Utara merupakan pendukung strategi pengurangan karbon Eropa yang lebih luas, skema pendanaan Eropa mungkin relevan dengan

North Sea Wind Power Hub (NSWPH) karena potensinya untuk mengurangi biaya yang berkaitan dengan tahap perencanaan, kepemilikan dan pengoperasian proyek. Hal ini dapat mengurangi beban tarif atau retribusi dan meningkatkan penerimaan masyarakat.

Karena sifat NSWPH yang kompleks, penting untuk mempertimbangkan skema pendanaan mana yang dapat diterapkan, biaya apa yang dapat ditanggung, dan apa saja potensi risikonya. Lima skema pendanaan Eropa dipertimbangkan secara rinci: The Connecting Europe Facility (CEF), Horizon Europe, pembiayaan terbarukan Uni Eropa, fasilitas pemulihan dan ketahanan, penanaman modal Uni Eropa dan Dana Inovasi. Kelima hal ini dipilih sebagai yang paling relevan dan dapat diterapkan di NSWPH. Dana dan hibah Uni Eropa lainnya telah dipertimbangkan tetapi dianggap kurang sesuai. Perbandingan lima skema yang paling relevan disajikan pada Gambar 5 diikuti dengan ringkasan masing-masing skema dan dampaknya terhadap kerangka nasional yang dipertimbangkan.

Scheme	Scope of fund	Assets and costs covered	Maximum amount	Conditions	Level of required contribution
CEF (Grant)		Covers all activities infrastructure assets. The costs covered are development costs and capital costs.	Up to 75% of eligible costs.	Only applicable to Project of Common Interest.	Requires Member States or with the agreement of the Member States concerned, by institutional organisations.
Horizon (Grant)		Covers electrical infrastructure. Development costs, capital costs and operational costs are covered.	Up to 20% of eligible costs.	It should fit within EU research and innovation program for Europe research II global challenges. It open innovation.	Collaborative with other Member States required in case of financing of cross-border infrastructure.
EU-renewable financing mechanism -ERDF (Grant)		It wide range of projects, from small-scale installations and innovative technologies such as floating offshore wind capital to large-scale on- and offshore and hybrid projects. Can be used to cover development, capital and operational costs.	Dependent on call.	Dependent on call.	No coordination between project Member States required when it is a settlement between funding and contributing Member States.
Horizon ERDF (Grant)		Covers the capital costs of large scale generation projects for renewable energy, storage, integrating solar concentrated lenses.	As determined on a project-by-project basis.	Expansion of REE, interconnector capacity or critical infrastructure.	It same cost-benefit infrastructure included with the innovation fund, coordination between project developers and relevant Member States is required.
Investment fund (Grant)		The fund supports up to 40% of the additional capital and operational costs linked to innovation related to the production or installation of the greenhouse gas emissions.	Max. 40% of eligible costs.	70% of on- and off-shore related meaning that only the additional costs for the innovation on a hub and spoke will be covered.	It same cost-benefit infrastructure included with the innovation fund, coordination between project developers and relevant Member States is required.

Gambar 11.5: Perbandingan Langkah-Langkah Dukungan Dana Uni Eropa Yang Dipilih.

1. Investasi dan kemitraan pembangkit listrik di Indonesia melalui Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha, menggunakan skema Build-Own-Operate atau BOO.
2. 2. Pembiayaan investasi dan kemitraan pembangkit listrik di China, dibiayai oleh I Komitmen Pembiayaan antara 2006 dan 2015 oleh Dua DFI Tiongkok—CDB dan CHEXIM—dan oleh Sepuluh MDB Besar.
3. Pembiayaan investasi dan kemitraan pembangkit listrik melalui penanaman modal Uni Eropa, dibiayai oleh The Connecting Europe Facility (CEF), Horizon Europe, pembiayaan terbarukan Uni Eropa, fasilitas pemulihan dan ketahanan, penanaman modal Uni Eropa dan Dana Inovasi.

Bab 12

Masa Depan Energi Indonesia

12.1 Pendahuluan

Transisi energi merujuk pada perubahan mendalam dalam metode produksi, konsumsi, dan penyimpanan energi. Ini merupakan langkah esensial ke arah lingkungan yang lebih hijau dan berkelanjutan. Pemerintah Indonesia telah mengambil inisiatif dengan mengundang anggota G20 untuk mencapai konsensus global mengenai percepatan transisi energi. Sebagai wujud komitmennya, Indonesia menggagas dan meluncurkan inisiatif Transisi Energi G20. Tujuannya adalah untuk merangsang dan mendorong baik negara-negara maju maupun berkembang agar beralih dari energi fosil ke sumber energi yang lebih bersih.

Inisiatif ini dirancang untuk menjadi bagian dari sistem energi global yang berkesinambungan. Melalui Transisi Energi G20, diharapkan akan memperkuat kerjasama dalam memastikan sistem energi global tetap berkelanjutan. Tiga aspek kunci dalam transisi energi ini adalah akses, teknologi, dan pendanaan. Dengan fokus pada ketiga aspek tersebut, diharapkan G20 dapat mencapai kesepakatan yang mempercepat transisi energi global, sambil memastikan adanya keadilan dan kesejahteraan. Berdasarkan data, anggota G20 mencakup sekitar 75% dari total permintaan energi dunia. Ini menegaskan bahwa anggota G20 memegang peran penting dan harus merumuskan strategi efektif dalam mendorong pemanfaatan energi

yang lebih bersih. ETWG menekankan diskusi mengenai keamanan energi, akses, efisiensi, dan beralih ke sistem energi dengan emisi karbon yang lebih rendah. Hal ini mengharuskan negara-negara yang bergantung pada energi fosil untuk melakukan perubahan signifikan dalam pola konsumsi energi nasional mereka.

Tantangan dalam beralih ke sumber energi dengan emisi karbon yang lebih rendah adalah tugas yang besar. Adaptasi dalam era baru ini bukan hanya berkaitan dengan strategi investasi, namun juga melibatkan perubahan budaya dan kebiasaan konsumsi energi. Sebanyak 69 negara diharapkan untuk melakukan dekarbonisasi secara sistematis dan terstruktur sebagai langkah konkrit, Wahid, L. O. M. A. (2020).

12.2 Penurunan Emisi Karbon

Penggunaan inovatif energi batubara dan produksi minyak bumi telah menyebabkan peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) yang dilepaskan ke atmosfer. Akibatnya, terjadi penangkapan panas yang berpotensi mengancam baik ekonomi maupun lingkungan. Dampak negatifnya mencakup kenaikan permukaan laut, risiko kesehatan manusia, penurunan produktivitas pertanian, kerusakan ekosistem, dan ancaman perubahan iklim, Adrati, S., & Augustine, Y. (2022).

Emisi karbon di Eropa dan Amerika telah mencapai tingkat stabil, sedangkan di Asia dan Afrika, terjadi peningkatan emisi. Infografik di bawah ini memvisualisasikan perlunya perubahan arah ekonomi untuk mencapai netralitas karbon. Pertumbuhan populasi yang signifikan telah terjadi di negara-negara Asia selama beberapa dekade terakhir, yang berimplikasi pada peningkatan konsumsi sumber daya. Ketika membahas kontribusi utama untuk mengurangi emisi, para ahli menggarisbawahi bahwa tidak semua negara memiliki tingkat tanggung jawab yang sama, dan faktor-faktor seperti kekuatan ekonomi dan kekayaan suatu negara juga harus dipertimbangkan Angelsen, A. (2008). Info grafik emisi global CO₂ dapat dilihat pada Gambar 12.1, di bawah ini.



Gambar 12.1: Emisi global CO2

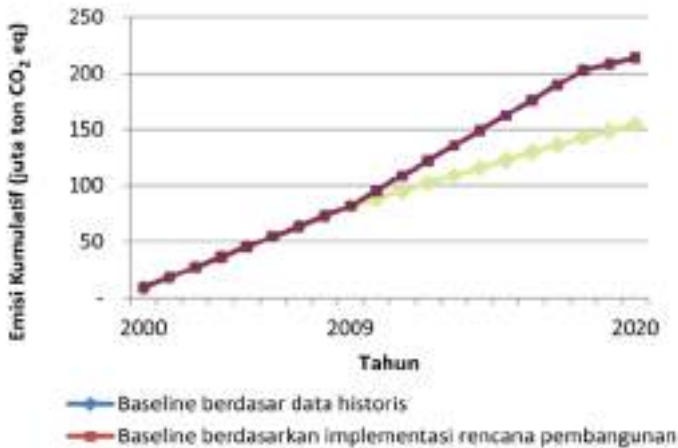
Emisi karbon dan emisi gas rumah kaca berkontribusi pada perubahan iklim. Jumlah emisi gas yang berlebihan dapat mengakibatkan efek pemanasan global atau efek rumah kaca, menyebabkan peningkatan suhu di seluruh planet. Jejak karbon adalah indikator yang mengukur dampak terhadap lingkungan, diukur sebagai lahan yang dibutuhkan untuk mendukung sumber daya alam. Selain karbon, konsep jejak karbon juga mencakup emisi gas rumah kaca lainnya seperti metana, nitrous oxide, atau klorofluorokarbon (CFC).

Pembakaran bahan bakar fosil dalam manufaktur, pemanasan, transportasi, dan produksi listrik untuk kebutuhan barang dan jasa adalah penyebab utama emisi karbon. Emisi ini memiliki dampak besar terhadap perubahan iklim global. Berbagai penelitian tentang emisi karbon telah menarik perhatian para peneliti, terutama karena perubahan iklim global yang cepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi antropogenik sekitar satu triliun ton karbon dapat menyebabkan kenaikan suhu global sebesar dua derajat Celsius (Latumahina, F. (2018)).

12.3 Rencana Aksi Mitigasi

Ada dua metode untuk menentukan baseline, yaitu berdasarkan data historis (historical baseline) dan berdasarkan rencana pembangunan yang akan datang (forward-looking baseline). Historical baseline menggunakan perubahan

penggunaan lahan di masa lalu sebagai dasar untuk memproyeksikan emisi di masa mendatang, sementara forward-looking baseline dibangun dengan mempertimbangkan rencana pembangunan kabupaten. Faktor-faktor yang harus diformulasikan dengan teliti adalah sejauh mana rencana pembangunan/kegiatan dapat direalisasikan di masa depan, ketersediaan sumber daya, serta kepentingan antar pihak, termasuk perlunya meneruskan agenda pembangunan yang melibatkan ekstraksi sumber daya alam. Gambar 12.2 menunjukkan bahwa emisi kumulatif berdasarkan forward-looking baseline lebih tinggi dibandingkan dengan nilai emisi kumulatif yang didasarkan pada historical baseline. Hal ini disebabkan karena diasumsikan dan direncanakan bahwa kebutuhan lahan untuk pembangunan di masa depan akan lebih besar dibandingkan dengan apa yang terjadi di masa lalu.



Gambar 12.2: Dua pendekatan yang digunakan untuk menentukan baseline

'Aksi mitigasi utama' disusun berdasarkan aspirasi dari berbagai pihak yang memiliki kepentingan, dengan mempertimbangkan sumber emisi dan persentase emisi di setiap zona. Untuk merencanakan intervensi, beberapa kemungkinan skenario disusun untuk setiap zona. Pertimbangan utama dalam penyusunan skenario meliputi prinsip-prinsip berikut: 1) melestarikan tutupan hutan yang masih ada saat ini, 2) melakukan rehabilitasi di wilayah pohon yang telah mengalami degradasi, dan 3) melakukan penanaman ulang pohon-pohon dengan nilai ekonomi, Alzahri, S., & Buchari, E. (2016).

12.4 Bauran Energi yang Seimbang dan Berkelanjutan

Indonesia telah bekerja keras untuk menyediakan akses listrik bagi seluruh rakyatnya. Saat ini, sekitar 98% penduduk Indonesia telah menikmati pasokan listrik. Meski demikian, diperkirakan masih ada 10 hingga 20 juta jiwa yang belum menikmati fasilitas tersebut. Dalam upaya mencapai elektrifikasi 100% bagi seluruh 260 juta penduduk, tantangan terbesar terletak pada 2% terakhir, yang banyak berada di daerah-daerah terpencil. Untuk mencapai target tersebut, diperlukan keseimbangan antara peningkatan kapasitas dan penggunaan energi yang ramah lingkungan. Dalam situasi krisis, operator jaringan listrik cenderung mencari sumber energi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Hal ini terlihat dari meningkatnya permintaan energi terbarukan di negara-negara seperti Amerika Serikat dan India, yang masing-masing mengalami kenaikan sekitar 40% dan 45%. Sebagai respons, PLN menyesuaikan investasi pembangkit listriknya di tahun 2020 dari Rp 100 triliun menjadi Rp 53,59 triliun.

Namun, seperti di banyak negara, pencapaian pasokan listrik yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan mudah diakses memerlukan kombinasi sumber energi, termasuk energi terbarukan, gas, dan batubara. Mengikuti jejak beberapa negara lain, Indonesia terus bergerak menuju transisi energi dengan mengadopsi pelajaran dari negara-negara seperti Australia, Jerman, dan Denmark. Transisi ini mengedepankan penggunaan sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, dan air.

Adapun beberapa langkah penting dalam mempercepat transisi energi meliputi:

1. Reduksi Emisi Karbon: Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.
2. Investasi Teknologi: Meningkatkan penelitian dan pengembangan teknologi energi terbarukan.
3. Mobilitas Berkelanjutan: Mendorong kendaraan listrik dan transportasi ramah lingkungan.
4. Pembangunan Infrastruktur: Membangun infrastruktur pendukung untuk energi terbarukan.

5. Dukungan Pemerintah: Mengadopsi kebijakan yang mendukung transisi energi.
6. Efisiensi Konsumsi Energi: Mengedepankan penggunaan energi yang hemat.
7. Kesetaraan Akses Energi: Memastikan akses listrik merata bagi seluruh lapisan masyarakat.
8. Pendidikan Masyarakat: Menyebarkan informasi tentang pentingnya transisi energi.
9. Manfaat Ekonomi: Mengidentifikasi peluang ekonomi dalam sektor energi terbarukan.

Dengan komitmen yang kuat dan dukungan global, kita dapat bergerak menuju masa depan energi yang lebih berkelanjutan, demi kebaikan generasi mendatang.

12.5 Transisi Sektor Ketenagalistrikan

Saat ini, sektor ketenagalistrikan di Indonesia berkontribusi sekitar 40 persen dari total emisi. Indonesia berkomitmen meningkatkan Kontribusi Nasionalnya (NDC) dengan target mencapai 23% pangsa energi terbarukan pada tahun 2025 dan mengurangi emisi sebesar 31,2% (tanpa syarat) dan 43,2% (bersyarat) pada tahun 2030 dibandingkan dengan kondisi bisnis seperti biasa (BAU). Namun, saat ini pangsa energi terbarukan dalam bauran pembangkit listrik baru mencapai 12,8%, dengan kapasitas 8,52 MW.

Indonesia tengah berupaya melakukan transisi energi di sektor ketenagalistrikan untuk mencapai target yang telah ditetapkan. Rencana Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengusulkan penghentian penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) secara alami dan peningkatan pemanfaatan energi terbarukan sebagai langkah menuju Net Zero Emisi (NZE) pada tahun 2060. Namun, pada pertemuan G20, Indonesia meluncurkan Jet Transition and Energy Partnership (JETP), yang menegaskan komitmen bersama untuk mencapai puncak emisi sektor ketenagalistrikan (290 MtCO₂) di Indonesia pada tahun 2030 dan mencapai NZE pada tahun 2050. JETP juga bertujuan untuk meningkatkan pangsa energi terbarukan hingga setidaknya 34% pada tahun 2030 dan menghentikan

penggunaan PLTU lebih awal. Sebaliknya, PLN berencana mempertahankan 19 GW Pembangkit Listrik Tenaga Uap (CFPP) yang akan dilengkapi dengan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCUS) pada tahun 2040 sebagai tindakan darurat. Namun, implementasi teknologi ini baru mencakup kurang dari 10% dari proyek global dengan CCS/CCUS hingga saat ini, menyoroti keterbatasan teknologi dalam hal pendanaan dan aspek teknis. Pilihan lain yang sedang dipertimbangkan adalah tenaga nuklir. Namun, teknologi ini juga menghadapi ketidakpastian seperti CCS/CCUS, yang dapat memengaruhi integrasinya dalam rencana pengembangan.

Menuju tahun 2025, PLN sangat bergantung pada tenaga air, panas bumi, dan biomassa untuk mencapai target 23% pangsa energi terbarukan. Beberapa proyek, terutama yang berfokus pada tenaga air dan panas bumi, mungkin mengalami penundaan, dan penggunaan biomassa menghadapi tantangan terkait harga. Oleh karena itu, terdapat risiko bahwa target energi terbarukan mungkin tidak tercapai. Di sisi lain, PV surya semakin kompetitif dan bisa cepat dalam penerapannya berkat waktu konstruksi yang singkat. Oleh karena itu, penggunaan PV surya dapat membantu mengisi kesenjangan dalam mencapai target energi terbarukan. Penyebaran PV surya didukung oleh fakta bahwa beberapa penelitian dan analisis, termasuk yang dilakukan oleh Kementerian ESDM, IEA, IRENA, dan IESR, telah menunjukkan bahwa tenaga surya akan memainkan peran penting dalam mengurangi emisi di sektor energi di Indonesia.

Namun, pembangkit listrik tenaga surya, yang termasuk dalam kategori variabel energi terbarukan (VRE), bersifat intermiten karena ketergantungannya pada kondisi cuaca. Ketergantungan yang lebih tinggi pada VRE akan memerlukan jaringan listrik yang sangat fleksibel untuk menjaga keseimbangan antara pasokan dan permintaan setiap saat. Oleh karena itu, transformasi dalam fleksibilitas jaringan listrik merupakan suatu keharusan untuk mengakomodasi tingginya porsi VRE. Fleksibilitas jaringan mencakup fleksibilitas teknis, fleksibilitas kontrak, dan praktik operasional sebagai sifat mendasar untuk beradaptasi atau bertahan terhadap perubahan mendadak dalam penawaran atau permintaan (Bagaskara et al., 2023, p. 33).

12.6 Analisis Krisis Energi dan Upaya Kemandirian Energi

Indonesia sedang berupaya untuk melakukan transisi energi sebagai bagian dari usaha untuk menjaga ketahanan energi dan mendorong ekonomi hijau di negara ini. Upaya ini mendapatkan dukungan dari sejumlah inisiatif internasional, seperti Partnership for Global Infrastructure and Investment, Asia Zero Emission Community (AZEC), Just Energy Transition Partnership (JETP), dan Millennium Challenge Corporation (MCC) Compact, yang menjadi sorotan pada acara Presidensi G20 tahun lalu.

Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Airlangga Hartarto menyatakan bahwa transisi energi bukan hanya merupakan langkah proaktif namun juga komitmen pemerintah dalam menghadapi potensi krisis energi di masa depan. Pemerintah berambisi untuk meningkatkan porsi Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran energi hingga mencapai 23% pada tahun 2025 dan bahkan 31% pada tahun 2030.

Meskipun energi terbarukan memiliki potensi besar, sayangnya masih belum dimanfaatkan secara optimal di banyak negara, termasuk Indonesia. Sebagian besar energi masih berasal dari sumber energi fosil seperti batubara, menunjukkan bahwa masih ada ruang besar untuk perbaikan di sektor ini. Fokus yang lebih serius pada penggunaan energi terbarukan menjadi krusial untuk mengatasi krisis energi global. Energi terbarukan dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca Harbintoro, S., Krisnadi, L., & Hafid, H. (2016).

Krisis energi global menyoroti bahwa ketahanan energi, terutama yang masih mengandalkan energi fosil, seperti yang terjadi di Indonesia dengan 67% energi masih bersumber dari fosil, sangat rentan. Maka dari itu, untuk menghadapi ketidakpastian di masa depan terkait dengan situasi sosial, politik, ekonomi, dan lingkungan, pemerintah perlu segera beralih ke energi yang berkeadilan dan berkelanjutan dengan mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dan menggantikan energi fosil.

12.7 Potensi Listrik Indonesia dari Energi Terbarukan

Kualitas udara di Jakarta dan Jawa Barat semakin memprihatinkan, dan hal ini diperparah dengan pemadaman listrik yang dialami puluhan juta warga pada awal bulan, disebabkan kegagalan operasional dari generator berbahan bakar gas. Sebagai tambahan, wilayah Indonesia timur sering kali mengalami ketersediaan pasokan listrik yang tidak stabil.

Berlokasi di sepanjang khatulistiwa dengan barisan gunung berapi aktif, Indonesia seharusnya dapat memanfaatkan potensi energi terbarukannya. Negara ini memiliki kapasitas potensial sebesar 788.000 MW dari sumber energi terbarukan, meliputi angin, surya, pasang surut, dan panas bumi. Potensi ini melebihi 14 kali dari konsumsi listrik nasional saat ini. Mengingat kekayaan sumber daya panas bumi yang mencakup 40% dari total global, Indonesia dapat memproduksi hingga 29.000 MW. Selain itu, dengan kekayaan wilayah lautnya, Indonesia dapat menghasilkan 75.760 MW listrik, seperti yang direncanakan dalam proyek Jembatan Pasang Selat Larantuka yang ditujukan untuk menyuplai listrik bagi 250.000 rumah.

Namun, pada 2018, dari total 60.000 MW listrik yang dikonsumsi Indonesia, hanya 12% berasal dari sumber terbarukan. Mayoritas energi diperoleh dari batubara, gas, dan minyak. Ketergantungan ini menjadi penyebab utama polusi udara di Jakarta dan pemadaman listrik yang baru-baru ini terjadi. PLN, sebagai penyedia utama energi di negara ini, mengambil tindakan dengan memberikan kompensasi sebesar Rp 839 miliar kepada konsumen.

Dengan pertumbuhan kebutuhan listrik yang diperkirakan meningkat 7% per tahun hingga 2027, masih ada 10-20 juta warga yang belum mendapatkan akses listrik. Dalam beberapa wilayah, ketersediaan listrik pun terbatas. Hambatan utama dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia adalah regulasi dan pembiayaan. Mahkamah Konstitusi telah menetapkan bahwa listrik merupakan aset negara yang harus dikelola oleh pemerintah atau melalui kemitraan. Ini berarti bahwa perusahaan listrik independen tidak dapat menjual listrik secara langsung kepada konsumen, tetapi harus melalui PLN.

Diperlukan investasi sebesar Rp 2.000 triliun untuk mencapai target 23% energi terbarukan pada 2025. Namun, ketidakpastian regulasi dan kebijakan yang kerap bertabrakan membuat investor ragu-ragu untuk terlibat. Meskipun

begitu, masyarakat semakin sadar akan pentingnya energi terbarukan. Menteri Energi, Ignasius Jonan, bahkan mempromosikan penggunaan panel surya dan mengaplikasikannya di rumah pribadinya.

Dengan potensi besar, dukungan masyarakat, dan sumber daya alam yang melimpah, Indonesia memiliki peluang untuk menjadi pionir dalam energi terbarukan. Namun, perlu adanya keseriusan dan komitmen kuat dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, untuk mewujudkannya. Seperti yang dinyatakan oleh Deon Arinaldo dari IESR, pemerintah harus memastikan kesetaraan antara energi fosil dan energi terbarukan dalam ekosistem transisi energi.

12.8 Kemandirian Energi

Strategi jangka panjang dalam bidang energi harus memfokuskan diri pada pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Meskipun Indonesia memiliki potensi panas bumi sekitar 28.617 MW, hanya 1.341 MW yang saat ini dimanfaatkan. Demikian juga dengan potensi energi tenaga air sebesar 75.000 MW, hanya 7.059 MW yang digunakan. Biomasa, dengan potensi 13.662 MW, hanya 1.772 MW yang telah dimanfaatkan.

Energi biomasa, baik sebagai bahan bakar maupun sebagai bahan baku untuk bahan bakar nabati, menunjukkan prospek yang menjanjikan dalam sektor energi terbarukan. Optimalisasi sumber energi ini dapat mengurangi ketergantungan pada Bahan Bakar Minyak (BBM), di mana 50% saat ini diimpor, serta dapat mengurangi emisi polutan dan gas rumah kaca. Namun, pengembangan EBT dihadapkan pada beberapa kendala, seperti biaya investasi yang tinggi, kurangnya insentif, harga jual EBT yang lebih mahal dibanding energi fosil, kesulitan dalam adaptasi teknologi bersih, dan sifat EBT yang umumnya tersebar dan berskala kecil.

Implementasi Undang-Undang memerlukan kerangka kerja dalam bentuk Peraturan Pemerintah (PP). Sebagai contoh, PP No. 79/2014 mengatur Kebijakan Energi Nasional (KEN), menggantikan Keputusan Presiden (Kepres) No. 5/2006. KEN, yang berlaku dari 2014 hingga 2050, terbagi menjadi kebijakan utama dan pendukung.

Kebijakan utama meliputi:

1. Memastikan ketersediaan energi bagi kebutuhan nasional;
2. Menentukan prioritas dalam pengembangan energi;
3. Mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya energi nasional;
4. Menyusun cadangan energi nasional.

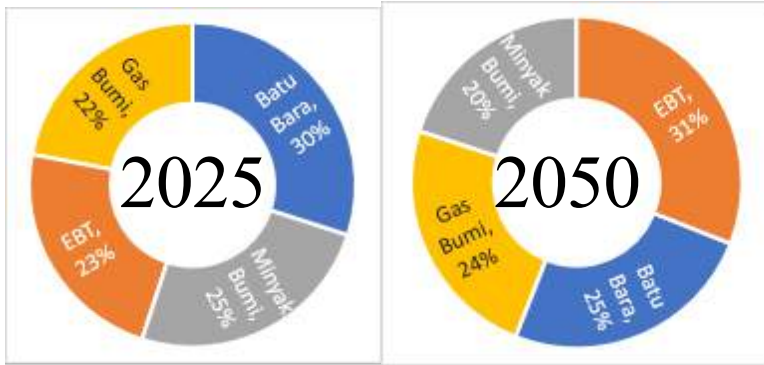
Sementara kebijakan pendukung mencakup:

1. Konservasi energi dan sumber daya serta diversifikasi energi;
2. Perlindungan lingkungan dan keselamatan;
3. Penetapan harga, subsidi, dan insentif energi.
4. Pembangunan infrastruktur dan meningkatkan akses energi bagi masyarakat dan industri;
5. Riset, pengembangan, dan implementasi teknologi energi;
6. Penyusunan kelembagaan dan pendanaan.

Tujuan utama dari kebijakan ini adalah menjamin ketersediaan energi primer, meningkatkan kapasitas pembangkit, dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan listrik di tahun 2025 dan 2050 dapat dilihat pada Tabel 12.1. Sedangkan target bauran energi primer yang optimal ditunjukkan pada Gambar 12.3. (Sugiyono, 2014)

Tabel 12.1: Sasaran Penyediaan dan Pemanfaatan Energi

	Satuan	2025	2050
Energi Primer	MTOE	400	1000
Energi Primer per Kapita	TOE	1,4	3,2
Kapasitas Pembangkit Listrik	GW	115	430
Listrik per Kapita	kWh	2500	7000



Gambar 12.3: Sasaran bauran energi nasional (Sugiyono, 2014, p. 13)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79/2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional (KEN), ketahanan energi didefinisikan sebagai suatu keadaan di mana ketersediaan energi terjamin dan masyarakat memiliki akses ke energi dengan harga yang wajar dalam jangka waktu yang berkelanjutan, sembari memastikan perlindungan lingkungan. Keberadaan ketahanan energi dapat diukur melalui indikator-indikator tertentu yang diestimasi berdasarkan formula dan kriteria khusus.

Lanskap pengembangan energi saat ini mengalami perubahan signifikan dibandingkan dengan dekade atau dua dekade yang lalu. Dalam setengah dekade terakhir, produksi minyak mentah menunjukkan tren penurunan. Sementara itu, fasilitas kilang minyak yang telah beroperasi sejak lama kini menghadapi kendala dalam memenuhi permintaan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang terus bertumbuh. Namun, di tengah tantangan tersebut, Indonesia memiliki kekayaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang menjanjikan. Sayangnya, pemanfaatan potensi ini masih belum optimal sesuai dengan target yang ditetapkan dalam KEN. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan baru yang berbeda dari pendekatan sebelumnya untuk mencapai target tersebut. Strategi dan inisiatif baru yang lebih inovatif diperlukan untuk mempercepat pengembangan EBT. Tentu saja, upaya tersebut memerlukan dukungan dana yang signifikan. Salah satu solusi pendanaan yang dapat diandalkan adalah melalui Dana Ketahanan Energi (DKE).

12.9 Kondisi Perkembangan Energi Saat Ini

Evolusi sektor energi terbarukan di Indonesia sedang memasuki fase yang menarik dengan target yang ditetapkan tinggi. Namun, dibalik optimisme tersebut, muncul sebuah kendala, yaitu kurangnya tenaga kerja berkualifikasi untuk mengisi posisi strategis, terutama pada tingkat menengah hingga pimpinan.

Berdasarkan informasi yang diambil dari Investor.id, dinamika energi terbarukan di Indonesia menunjukkan beberapa indikasi positif yang penting. Pertama, ada peningkatan komitmen dari pemerintah untuk mencapai target 23% kontribusi energi terbarukan pada tahun 2025. Komitmen ini diperkuat lagi dengan kesepakatan Just Energy Transition Partnership (JETP) antara Indonesia dan IPG. Dalam JETP ditargetkan puncak emisi gas rumah kaca mencapai 290 juta ton CO₂e dan harapan untuk meningkatkan kontribusi energi terbarukan menjadi 34% pada tahun 2030.

Kedua, kebijakan B35 yang diadopsi oleh pemerintah Indonesia telah mendorong kenaikan konsumsi bahan bakar nabati (BBN). Estimasi menunjukkan bahwa konsumsi BBN akan mencapai 13,1 juta kilo liter pada tahun 2023, sebuah lonjakan sekitar 16% dibandingkan target 2021 yang berada di angka 11 juta kilo liter. Tidak hanya itu, program co-firing yang diterapkan oleh PLN diharapkan dapat menggunakan sekitar 2,2 juta ton biomassa tahun depan, yang pada gilirannya akan mengurangi ketergantungan terhadap batubara sebesar 1,5% dan meningkatkan kontribusi energi terbarukan.

Ketiga, ada permintaan yang meningkat dari sektor industri terhadap energi terbarukan, khususnya dari industri semen, pemrosesan mineral, pertambangan, dan data center. Sebagai contoh, kerjasama antara PLN dan Amazon untuk menyediakan 215 MW tenaga listrik berbasis energi terbarukan menandakan peluang besar bagi PLN untuk mendorong lebih banyak inisiatif energi hijau di masa mendatang (Aprilliani, 2023).

Daftar Pustaka

- A. Barbón, M. Ghodbane, L. Bayón, Z.S. (2022) ‘A general algorithm for the optimization of photovoltaic modules layout on irregular rooftop shapes’, *Journal of Cleaner Production*, 365(Elsevier).
- A. Heron, (1985) “ Financing electric power in developing countries - The global investment outlook and the role of the World Bank”, *IAEA BULLETIN*, WINTER.
- ABB (2014) Technical Application Papers No.10 Photovoltaic plants., [library.e.abb.com](https://library.e.abb.com/public/9b867d77d5e0da7fc1257ca60057221b/QT10_EN_2013.pdf). Available at: [https://library.e.abb.com/public/9b867d77d5e0da7fc1257ca60057221b/QT10 EN 2013.pdf](https://library.e.abb.com/public/9b867d77d5e0da7fc1257ca60057221b/QT10_EN_2013.pdf).
- Adi Ahdiat (2023) Konsumsi Listrik Penduduk Indonesia Naik pada 2022, Capai Rekor Baru. Available at: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/02/23/konsumsi-listrik-penduduk-indonesia-naik-pada-2022-capai-rekor-baru> (Accessed: 25 September 2023).
- Adrati, S., & Augustine, Y. (2022). PENGARUH VOLUME EMISI KARBON, PENGUNGKAPAN EMISI KARBON, PENGUNGKAPAN PRAKTIK MANAJEMEN EMISI KARBON TERHADAP KINERJA PERUSAHAAN. *Jurnal Kontemporer Akuntansi*, 2(1), 32. <https://doi.org/10.24912/jka.v2i1.18123>
- Agency IRENA, I.R.E., (2018). Renewable energy market analysis: Southeast Asia. International Renewable Energy Agency (IRENA).
- Aisyah, R.N., Majid, J., Suhartono, S., (2020). CARBON TAX: ALTERNATIF KEBIJAKAN PENGURANGAN EXTERNAL DISECONOMIES EMISI KARBON. *ISAFIR Islam. Account. Finance Rev.* 1, 48–66. <https://doi.org/10.24252/isafir.v1i2.17603>

- Akbar, Rizki M. (2011). Ketenaganukliran (online). <http://mediaanak Indonesia.wordpress.com/2011/03/14/dampak-kebocoran-nuklir-bagi-manusia/> (Diakses Pada 10 Oktober 2016).
- Alzahri, S., & Buchari, E. (2016). RENCANA AKSI MITIGASI EMISI CO2 DENGAN SKEMA PARK AND RIDE DAN LAJUR KHUSUS TRANS MUSI DI KOTA PALEMBANG. *Jurnal Deformasi*, 1(1). <https://doi.org/10.31851/deformasi.v1i1.480>
- Angelsen, A. (2008). Melangkah maju dengan REDD: Isu, pilihan dan implikasi. CIFOR.
- Aprilliani, M., (2023). Perkembangan Energi Terbarukan di Indonesia 2023, Terganjil Ini? *Glints Empl.* URL <https://employers.glints.com/id-id/blog/perkembangan-energi-terbarukan-di-indonesia/> (accessed 9.28.23).
- Badan Tenaga Nuklir Indonesia. (2015). Cadangan Uranium di Indonesia. Jakarta : Batan.org
- Bagaskara, A., Hapsari, A., Kurniawan, D., Tumiwa, F., Vianda, F., Padhilah, F.A., Wismadi, F.S., Puspitarini, D.H.D., Bintang, H.M., (2023). Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Pursuing Energy Security in the Time of Transition.
- Citraningrum, M. (2017) 'PANTAU LISTRIKMU Sebuah inisiatif untuk memantau kualitas layanan listrik', *ENERGIKITA*, 3(September).
- Corio, D., (2019). Analisa Potensi Embung Itera Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH). *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO* 8, 97. <https://doi.org/10.25077/jnte.v8n3.691.2019>
- Crespi, F., Quatraro, F., (2015). *The Economics of Knowledge, Innovation and Systemic Technology Policy*. Routledge.
- Daniati. (2014) Makalah Nuklir (online). <http://daniati16.blogspot.com/2014/02/makalah-nuklir.html> (Diakses Pada 10 Oktober 2016)
- DEN. (2017). *Buku Dewan Energi Nasional*. Dewan Energi Nasional.
- Dewan Energi Nasional. (2019). *Bauran Energi Nasional 2019*. Jakarta: Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional.

- Dewan Energi Nasional. (2020). Bauran Energi Nasional. Jakarta: Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional.
- DiPippo.R. (1978). Fossil super heating in geothermal , United Kingdom
- DiPippo.R. (2012). Geothermal Power Plants. Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact. Oxford, United Kingdom.
- Dogan, E., Altinoz, B., Madaleno, M., & Taskin, D. (2020). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A replication and extension of Inglesi-Lotz (2016).
- Energy Economics, 104866. Gulagi, A., Ram, M., Khan, M., & Breyer, C. (2020). Current energy policies and possible transition scenarios adopting renewable energy: A case study for Bangladesh. *Renewable Energy*, 899-920.
- esdm.go.id (2020) Panduan Pengelolaan Lingkungan PLTS. Direktorat Aneka Energi Baru Dan Energi Terbarukan Kementerian Sumber Daya Mineral.
- F.Satybaldiyeva, R.Beisembekova¹, A.S. and G.Zh. Yessenbekova, A.K. (2021) 'Development Of Models Of The Maximum Power Of The Solar Energy Tracking System Based On A Photopanel', *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99 No 6(14). Available at: <http://www.jatit.org/volumes/Vol99No6/14Vol99No6.pdf>.
- Faiq Rizqi Aulia Rachim, dkk, (2022) " PENINJAUAN SKEMA BUILD-OWN-OPERATE (BOO) PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ENERGI BARU TERBARUKAN DALAM PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA NOMOR 4 TAHUN 2020 BERDASARKAN UNDANG-UNDANG DASAR REPUBLIK INDONESIA 1945", *Jurnal Rechts Vinding*, Volume 11 Nomor 3, Desember, Universitas Gajah Mada.
- Gehring.Magnus. (2012). Geothermal handbook: Planning and Financing Power Generation.Washington, USA.
- Guo, Z. et al. (2022) 'Heat ux Distribution Model and Transient Temperature Field Analysis in Grinding of Helical Raceway Heat flux Distribution Model and Transient Temperature Field Analysis in Grinding of Helical Raceway'. Available at: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1384537/v1>.

- Harbintoro, S., Krisnadi, L., & Hafid, H. (2016). Penelitian Penggunaan Bahan Bakar Nabati (Bbn) pada Mesin Diesel Stasioner sebagai Upaya Mengurangi Ketergantungan terhadap Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 7(14), 110. <https://doi.org/10.26578/jrti.v7i14.1539>
- Indonesia Energy Transition Outlook [WWW Document], 2022. URL <https://www.irena.org/publications/2022/Oct/Indonesia-Energy-Transition-Outlook> (accessed 9.29.23).
- Indonesia has the potential to generate 788,000 megawatts (MW) of power from renewable energy sources such as wind power, solar, tidal, and geothermal | REVE News of the wind sector in Spain and in the world, 2019. URL <https://www.evwind.es/2019/08/19/indonesia-has-the-potential-to-generate-788000-megawatts-mw-of-power-from-renewable-energy-sources-such-as-wind-power-solar-tidal-and-geothermal/68501> (accessed 9.28.23).
- Indonesia. (2014). Peraturan Pemerintah tentang Kebijakan Energi Nasional PP No. 79 Tahun 2014, LN No. 300 Tahun 2014, TLN No. 5609. Indonesia.
- Internasional Energi Agency (IEA). (2021, Mei 4). World Energy Outlook 2020. Retrieved from Internasional Energi Agency (IEA): <https://www.iea.org>
- Ir. Endro Utomo Notodisuryo. (1997), "Visi Energi Dalam PJP II", UGM, Yogyakarta .
- Ivanovski, K., Hailemariam, A., Smyth, R., (2021). The effect of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth: Nonparametric evidence. *Journal of Cleaner Production* 286, 124956. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124956>
- Januar, Elsan. (2012). Makalah Termodinamika Nuklir. <http://elsan-janu.blogspot.com/2012/10/makalah-termodinamika-nuklir.html> diakses pada 19 juni 2013
- Kagel, A. (2008). The State of Geothermal Technology. Geothermal Energy Association for the USA, Washington, D.C.
- Katadata (2020) 'Energi Baru Terbarukan Solusi Untuk Indonesia di Masa Pandemi?'

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2020). Ringkasan Renstra 2020-2024. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2021, Mei 10). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Retrieved from Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi: <https://migas.esdm.go.id/>
- Kementrian ESDM. (2022). Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia (HEESI) 2022.
- Khan, H., Khan, I., & Binh, T. T. (2020). The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach. *Energy Reports*, 859-867.
- Kristina, n.d. Apa Itu Emisi Karbon? Kenali Penyebab, Dampak, dan Cara Mengurangnya [WWW Document]. detikedu. URL <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-5796741/apa-itu-emisi-karbon-kenali-penyebab-dampak-dan-cara-mengurangnya> (accessed 9.28.23a).
- Kristina, n.d. Krisis Energi: Pengertian, Penyebab, dan Cara Mengatasinya [WWW Document]. detikedu. URL <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-5756087/krisis-energi-pengertian-penyebab-dan-cara-mengatasinya> (accessed 9.28.23b).
- Kurniawan, I.A. (2016) Paiton, Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai Pemanfaatan Lahan PLTU. Institut Teknologi Surabaya.
- Kusumadewi, T. V., & Limmeechokchai, B. (2017). CO 2 Mitigation in Residential Sector in Indonesia and Thailand: Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency. *Energy Procedia*, 138, 955–960. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.086>
- Langkah Menuju Transisi Energi [WWW Document], n.d. . Pus. Pengemb. Sumber Daya Mns. Apar. URL <https://ppsdmaparatur.esdm.go.id/seputar-ppsdma/langkah-menuju-transisi-energi> (accessed 9.28.23).
- Latumahina, F. (2018). Respon semut terhadap kerusakan antropogenik pada hutan lindung sirimau, Ambon. *Agrologia*, 5(2). <https://doi.org/10.30598/a.v5i2.188>

- Luo, C., & Wu, D. (2016). Environment and economic risk: An analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental Research*, 297-301.
- Maghrabie, H.M. et al. (2022) 'Phase change materials based on nanoparticles for enhancing the performance of solar photovoltaic panels: A review', *Journal of Energy Storage*, 48, p. 103937.
- Masa Depan Energi yang Seimbang dan Berkelanjutan untuk Indonesia | GE News [WWW Document], n.d. URL <https://www.ge.com/news/reports/masa-depan-energi-yang-seimbang-dan-berkelanjutan-untuk-indonesia> (accessed 9.28.23).
- Mazur, T.M. et al. (2021) 'Solar cells based on CdTe thin films', *Physics and chemistry of solid state*, 22(4), pp. 817–827.
- Metwally, A. et al. (2021) 'Machine Design of a Sun Tracking Solar Panel', The University of British Columbia [Preprint].
- Metz, B., T, M.K.J., (2015). *Development Policy as a Way to Manage Climate Change Risks*. Routledge.
- Mursidin, Wiwin. (2011). Makalah Energi Nuklir (online). <http://wi2nmursidin.files.wordpress.com/2011/05/makalah-energi-nuklir.docx> diakses pada 19 Juni 2013.
- Mutiara, L., (2017). *Energi baru, terbarukan, dan konservasi energi Indonesia, 2017: buku panduan investasi*.
- Nabilah, M. (2023) Deretan Provinsi dengan Rasio Elektrifikasi Rumah Tangga Terendah Nasional 2022, Indonesia Timur Mendominasi. Available at: [https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/07/11/deretan-provinsi-dengan-rasio-elektrifikasi-rumah-tangga-terendah-nasional-2022-indonesia-timur-mendominasi#:~:text=Berdasarkan laporan Perusahaan Listrik Negara,tangga sebanyak 78.327.897 pelanggan](https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/07/11/deretan-provinsi-dengan-rasio-elektrifikasi-rumah-tangga-terendah-nasional-2022-indonesia-timur-mendominasi#:~:text=Berdasarkan laporan Perusahaan Listrik Negara,tangga sebanyak 78.327.897 pelanggan.). (Accessed: 27 September 2023).
- Ningsih, Y., Mulyani, R., Marlianti, N., Armonisaputra, N., (2023). **PENDAMPINGAN PENYUSUNAN RENCANA PEMBANGUNAN JANGKA MENENGAH (RPJM) NAGARI PAKAN SINAYAN. PUAN INDONESIA 5**, 175–182. <https://doi.org/10.37296/jpi.v5i1.169>

- North Sea Wind Power Hub Programme, (2022) “Regulatory & Market Design – Economic and Financial Framework for Electrical infrastructure”, North Sea Wind Power Hub-October.
- Nugraha, D.B.,(2022). Transisi Energi Terbarukan dalam Negara Berkembang: Kasus Pembangunan PLTA Skala Kecil Swasta di Indonesia. Universitas Gadjah Mada.
- Patty, O., (1995). Tenaga Air. Erlangga.
- Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, “ Blue Print Pengelolaan Energi Nasional Tahun 2006-2045”.
- PERATURAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 38 TAHUN 2015 TENTANG KERJASAMA PEMERINTAH DENGAN BADAN USAHA DALAM PENYEDIAAN INFRASTRUKTUR, SEKRETARIAT KABINET-Deputi Bidang Perekonomian, 2015.
- Pertamina Energy Institute. (2020). Pertamina Energy Outlook 2020. Jakarta: Pertamina Energy Institute.
- Perubahan Iklim Mengubah Bumi dalam Beberapa Dekade Terakhir – DW – 04.11.2021 [WWW Document], n.d. . dw.com. URL <https://www.dw.com/id/perubahan-iklim-mengubah-bumi/a-59702908> (accessed 9.28.23).
- Pratama, A. T. (2013) ‘PERMASALAHAN KELISTRIKAN NASIONAL DAN SOLUSINYA’.
- Pribadi, A. (2023) 2023, Indonesia Timur Jadi Target Kejar Rasio Elektrifikasi. Available at: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/2023-indonesia-timur-jadi-target-kejar-rasio-elektrifikasi> (Accessed: 27 September 2023).
- Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, (2022) ”Outlook Energi Indonesia 2020”, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi BPPT),.
- Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, & Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2020). Outlook Energi Indonesia 2020. Jakarta: PPIPE & BPPT.
- Rahman, A., Dargusch, P., & Wadley, D. (2021). The political economy of oil supply in Indonesia and the implications for renewable energy

- development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 111027. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111027>
- Raihan, A., Pavel, M. I., Muhtasim, D. A., Farhana, S., Faruk, O., & Paul, A. (2023). The role of renewable energy use, technological innovation, and forest cover toward green development: Evidence from Indonesia. *Innovation and Green Development*, 2(1), 100035. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100035>
- Ramadani, T. (2018). PENGELOLAAN ENERGI NASIONAL: MODAL PEMBANGUNAN BANGSA. *Jurnal Administrasi Publik*, 14(2), 143–150. <https://doi.org/10.52316/jap.v14i2.6>
- RANCANGAN UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA TAHUN 2022 TENTANG ENERGI BARU DAN ENERGI TERBARUKAN, Komisi VII DPR RI Tahun 2022..
- Reksohadiprojo, S., (1988). *Ekonomi Energi*. PAU Studi Ekonomi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Republik Indonesia. (2014). Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Republik Indonesia. (2017). Peraturan Presiden No 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Santika, W., Anisuzzaman, A., Simsek, Y., Bahri, P., Shafiullah, G., & Urmees, T. (2020). Implications of the Sustainable Development Goals on national energy. *Energy*.
- Santoso, R. (2019) 'Kebijakan Energi Di Indonesia : Menuju Kemandirian', *Jurnal Analisis Kebijakan*, 1(1), pp. 28–36. doi: 10.37145/jak.v1i1.21.
- Sanusi, B., (1982). *Energi ASEAN: suatu tantangan*. Bina Aksara.
- Sekjen DEN. (2017). *Outlook Energi Indonesia*. Dewan Energi Nasional.
- Setyono, A. E. and Kiono, B. F. T. (2021) 'Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050', *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2(3), pp. 154–162. doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- Sitompul, A., Abadi, T. and Tumiwa, F. (2017) 'MENERANGI INDONESIA'.

- Stroomberg, D.J., (2018). *Hindia Belanda 1930*. IRCiSoD.
- Sugathapala, T., (2019). Progression of Renewable Energy Development for Electricity in South Asia: Drivers and Challenges, in: *Sustainable Energy Transition in South Asia*. WORLD SCIENTIFIC, pp. 69–88.
- Sugiawan, Y., Managi, S., (2016). The environmental Kuznets curve in Indonesia: Exploring the potential of renewable energy. *Energy Policy* 98, 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.029>
- Sugiyono, A. (2016). *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2015-2035: PROSPEK ENERGI BARU TERBARUKAN*. 12(2).
- Sugiyono, A., (2014). *Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini*.
- Sugiyono, A., n.d. *Konsep Dana Ketahanan Energi*.
- Sulistyo, E., (2021). *Jejak Listrik di Tanah Raja*. Kepustakaan Populer Gramedia.
- Sumarno, T. B., Sihotang, P., & Prawiraatmadja, W. (2022). Exploring Indonesia's energy policy failures through the JUST framework. *Energy Policy*, 164, 112914. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112914>
- Sun, Y., Ajaz, T., & Razzaq, A. (2022). How infrastructure development and technical efficiency change caused resources consumption in BRICS countries: Analysis based on energy, transport, ICT, and financial infrastructure indices. *Resources Policy*, 79, 102942. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102942>
- Sunaryo (2014) *Analisis Daya Listrik yang Dihasilkan Panel Surya Ukuran 216 cm x 121 cm Berdasarkan Intensitas Cahaya*. Universitas Muhammadiyah Riau.
- Tim Editorial Rumah.com (2022) *10 Cara Hemat Energi Listrik dan Biaya di Rumah*. Available at: <https://www.rumah.com/panduan-properti/10-cara-hemat-energi-sekaligus-hemat-biaya-di-rumah-27463> (Accessed: 27 September 2023).
- Traivivatana, S., Wangjiraniran, W., Junlakarn, S., & Wansophark, N. (2017). Impact of Transportation Restructuring on Thailand Energy Outlook. *Energy Procedia*, 138, 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.178>

- Ula, T. (2019). Dampak Konsumsi Energi Terbarukan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi: Studi di Asia Tenggara. 5(2).
- Wahid, L. O. M. A. (2020). ANALISIS KEBIJAKAN ENERGI NASIONAL SEBAGAI PRODUK KEBIJAKAN TRANSISI ENERGI INDONESIA. *Jurnal Energi Dan Lingkungan (Enerlink)*, 13(1). <https://doi.org/10.29122/elk.v13i1.4255>
- Wang, J., Zhang, S., & Zhang, Q. (2021). The relationship of renewable energy consumption to financial development and economic growth in China. *Renewable Energy*, 897-904.
- Widi, S. (2023) Konsumsi Energi Listrik Indonesia Kembali Meningkatkan pada 2022. Available at: <https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/konsumsi-listrik-indonesia-capai-18341-juta-boe-pada-2022> (Accessed: 27 September 2023).
- Widyaningsih, G. A. (2017). Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 4(1), 139–152. <https://doi.org/10.38011/jhli.v4i1.53>
- Wisuttisak, P., (2019). REGULATORY AND POLICY CHALLENGES FOR ASEAN ENERGY SECURITY AND INTEGRATION, in: *Achieving Energy Security in Asia*. WORLD SCIENTIFIC, pp. 31–63.
- www.rmc-indonesia.com (2020) Hemat Energi di Industri yang Efektif. Available at: <https://environment-indonesia.com/hemat-energi-di-industri-yang-efektif/> (Accessed: 27 September 2023).
- Xu Chen, Kevin P. Gallagher, Denise L. Mauzerall, (2022) “Chinese Overseas Development Financing of Electric Power Generation: A Comparative Analysis”. , Publish by ELEVIER, October.
- Yang, D., Liu, D., Huang, A., Lin, J., & Xu, L. (2021). Critical transformation pathways and socio-environmental benefits of energy substitution using a LEAP scenario modeling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110116.
- Yurika, (2021). Potensi Besar, PLTA Masih Jadi Andalan [WWW Document]. *Dunia Energi*. URL <https://www.dunia-energi.com/potensi-besar-plta-masih-jadi-andalan/> (accessed 9.7.23).

Biodata Penulis



Dean Corio adalah seorang akademisi yang tengah meniti karir di dunia pendidikan dan penelitian. Saat ini, ia sedang mengejar gelar Doktor di bidang Teknik Elektro dan Informatika di Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung (STEI ITB). Sebelumnya, Dean telah menempuh pendidikan sarjana dan magister di Universitas Andalas, Padang. Dalam karir akademiknya, ia telah mengambil peran sebagai dosen tetap di Program Teknik Elektro, Jurusan Teknologi Industri dan Produksi di Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Di samping mengajar, Dean juga aktif dan terlibat dalam

beberapa penelitian internal ITERA dan program Simlitabmas, memperkaya wawasan dan kontribusinya dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Ia memiliki keahlian dalam mengampu berbagai mata kuliah seperti Rangkaian Elektrik I dan II, Analisis Sistem Tenaga, Penggerak Motor Listrik, Elektronika Daya, Pembangkit Energi Terbarukan, Medan Elektromagnetik, dan Material Teknik Elektro. Kiprahnya yang aktif dalam pendidikan dan penelitian mencerminkan komitmen Dean dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan mempersiapkan generasi muda yang kompeten di bidang Teknik Elektro.

Email: dean.corio@el.itera.ac.id atau 33220310@mahasiswa.itb.ac.id



Dr. Ir. Ritnawati, ST., MT. Lahir di Kota Samarinda Kalimantan Timur pada tanggal 24 Maret 1979. Menyelesaikan studi pada tahun 2003 di UVRI Makassar. Tahun 2008, melanjutkan studi di Universitas Hasanuddin (Unhas) pada Program Studi Teknik Sipil di tahun 2010. Kemudian melanjutkan studi Program Doktor Teknik Sipil pada tahun 2013 di Universitas Hasanuddin (Unhas) dan telah meraih Gelar Doktor pada tahun 2019. Telah

menyelesaikan Program Profesi Insinyur (PPI) di UNHAS sejak tahun 2020. Saat ini bertugas sebagai Dosen Prodi Teknik Sipil Universitas Fajar sejak tahun 2022. Aktif dalam berbagai kegiatan penelitian dan kegiatan mulai baik pada jurnal ilmiah nasional maupun internasional dari tahun 2008-sekarang.

email: ritnawati@unifa.ac.id HP/wa: 085255350257.



Muhammad 'Atiq. dosen tetap Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Pati. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program Diploma Tiga di ATP Veteran Semarang sekarang Fakultas Maritim Universitas IVET Jurusan Listrik Kapal. Melanjutkan pendidikan S1 Teknik Elektro di UNISFAT Demak dan S2 Teknik Elektro di UNISSULA Semarang.

E-mail: atiq.corps@gmail.com ,
muhammadatiq@sttp.ac.id



Ir. Muhammad Ihsan Mukrim, ST., M.Eng., M.Sc. Lahir di Watampone, 20 Pebruari 1977. Mempelajari rekayasa tenaga air, ketika menempuh pendidikan sarjana teknik sipil (2001). Tahun 2019, mengikuti program profesi Insinyur di Universitas Hasanuddin. Mengikuti program magister (S2) dari Universitas Gadjah Mada dan Asian Institute of Technology, Thailand (2010). Mulai bekerja tahun 1998, sebagai asisten Laboratorium Hidraulika dan Ilmu Ukur Tanah pada Departemen Teknik Sipil

Unhas, hingga 2002. Sejak 2001, bekerja pada beberapa perusahaan konsultan dan kontraktor, pada instansi pemerintah (Dinas Bina Marga dan Dinas Pekerjaan Umum Kota Makassar, 2004-2014) serta pada beberapa lembaga pendidikan tinggi (Universitas Fajar, Institut Sains dan Teknologi Pembangunan Indonesia). Antara tahun 2013-2014, bertugas sebagai Kepala Seksi Pembangunan Bangunan Air dan Kepala Seksi Penelitian dan Pengawasan Bangunan Air, Dinas PU Makassar. Sejak 2015, bekerja sebagai Dosen DPK pada Prodi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik Baramuli.

Yanti. S.Pd., MT Lahir di Makassar, 26 April. Menyelesaikan studi pada tahun 2007 pada program studi Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Negeri Makassar (UNM) lalu melanjutkan studi pada program studi Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin (UNHAS) pada tahun 2008. Saat ini bertugas sebagai Dosen sejak tahun 2012 dan pernah menjadi ketua program studi dari tahun 2019 sampai 2023 pada program studi Teknik Mesin Universitas Fajar (UNIFA).

Aktif dalam berbagai kegiatan penelitian dan pengabdian.

E-mail: yanti@unifa.ac.id



Muh. Setiawan Sukardin lahir di Makassar, pada 28 Mei 1976. Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar Kementerian Perindustrian sejak tahun 2001. Pendidikan S1, S2, S3 di Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Ketua Komite Skema Sertifikasi Kompetensi Lembaga Sertifikasi Profesi Teknik Industri Politeknik ATI Makassar 2013-sekarang). Asesor Kompetensi LSP Teknik Industri Politeknik ATI Makassar 2013-sekarang) Ketua Asosiasi Pengelasan Indonesia API-IWS Sulawesi Selatan (2017-sekarang). email : setiawan_mkz@yahoo.co.id



Ir. Ahmad Thamrin Dahri , ST., MT., IPM. Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis menyelesaikan Studi S1 - Sarjana Teknik (S.T.) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) pada Tahun 2005 Konsentrasi Konversi Energi dan melanjutkan Studi S2 - Magister Teknik (M.T.) Program Strata Magister (S2) Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (Unhas) Tahun 2012 dengan Konsentrasi Konversi Energi dan menyelesaikan Program Profesi Insinyur (Ir) Universitas

Hasanuddin Tahun 2022 serta mendapat gelar Insinyur Profesional Madya (IPM) dari Persatuan Insinyur Indonesia (PII) BK Teknik Mesin pada Januari 2023. Bergabung menjadi Dosen Yayasan Pendidikan Fajar dan aktif mengajar pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Fajar sejak Tahun 2010 – sekarang. Mengampuh beberapa mata kuliah yaitu mesin-mesin fluida, perancangan mesin dan lainnya. Pernah berkarir di PT. Thaha Engineering Group, PT. Bumi Mineral Sulawesi dan PT. Nindya Karya (Persero).



Ir. Muh. Rais, S.Pd., M.T Lahir di Sidrap, pada tanggal 01 Desember 1989. Menyelesaikan S1 Jurusan Pendidikan Teknik Elektro UNM tahun 2011, S2 di Program Magister di Jurusan Teknik Elektro Program Pasca Sarjana UNHAS (PPS) tahun 2014, Pendidikan profesi Insinyur (PPI) UNHAS tahun 2020, Aktivitas saat ini adalah sebagai salah satu dosen tetap Universitas Patria Artha Makassar pada Fakultas Teknik & Informatika Program Studi Teknik Elektro. Penulis juga aktif di organisasi Ikatan Sarjana Asal Sidrap (PP ISA SIDRAP) 2020 – 2025 sebagai sekretaris jenderal dan Pengurus Wilayah Pemuda ICMI Sulawesi Selatan 2022 – 2026.



Nita Suleman. Saat ini sedang menyelesaikan Program Doktor Pendidikan IPA dengan topik disertasi Pengembangan Model Pembelajaran CMC untuk Meningkatkan Pemahaman Relasional Mahasiswa. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 dan S2 di Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Ia adalah dosen tetap Program Studi S1 Kimia FMIPA Universitas Negeri Gorontalo

Mengampu mata kuliah Kimia Fisik, Kinetika Reaksi Kimia dan Edukimia Energi. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa Magang dan KKN.

Selama ini terlibat aktif dalam pengurus LPPOMMUI Gorontalo serta aktif sebagai auditor halal LPPOMMUI.

Telah menulis 9 Buku referensi yakni Energi Terbarukan, Buku Pembelajaran IPAS, Buku Inovasi Pembelajaran berbasis digital abad 21, Buku Model-Model Pembelajaran, Buku Microteaching, Buku Pengantar e-learning, Buku Statistik Pendidikan, Buku Riset pendidikan dan Buku Green Energy oleh Penerbit Kita Menulis.

E-mail: nita.suleman@ung.ac.id



Haerul Ahmadi, M.Si lahir pada tanggal 01 Mei 1988 di Sungguminasa, Kab. Gowa Sulawesi Selatan. Mengawali Pendidikan di SDN Manjalling Kecamatan Bajeng Barat. Mendapat Pendidikan menengah di SMAN 1 Sungguminasa. Selanjutnya melanjutkan Pendidikan tinggi pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Makassar dan menyelesaikan gelar sarjana pada tahun 2010. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan untuk mendapatkan gelar magister pada jurusan fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan menyelesaikan studi pada tahun 2015 dengan konsentrasi Fisika Instrumentasi. Saat ini penulis berkiprah sebagai Staff Pengajar di Jurusan Fisika Universitas Negeri Gorontalo. Selain mengajar, Penulis aktif dalam kegiatan penelitian, pengabdian kepada Masyarakat dan penulisan ilmiah bidang energi terbarukan. Buku ini merupakan salah satu karya yang diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca.

CP: 085255009509/ E-mail: haerulahmadiphy@gmail.com



Dr. Ir. Mursalim, MT. Lahir di Kota Makassar pada tanggal 10 Desember 1962, Pada Tahun 1987 menyelesaikan Pendidikan Strata 1 (S1) di Universitas Hasanuddin, Pendidikan Pasca Sarjana (S2) Teknik Sipil di Universitas Katholik Parahyanan (2005), dan Pendidikan Doktor (S3) Teknik Sipil di Universitas Hasanuddin (2018).

Pada tahun 1994 terangkat menjadi PNS di Departemen Transmigrasi dan PPH sampai dengan tahun 2000. Menjadi PNS dalam lingkup Pemerintah Sulawesi Selatan (tahun

2000), ditempatkan di Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi (pada Bidang Ketransmigrasian). Pada tahun 2005 diterima menjadi Dosen Yayasan Universitas Atma Jaya Makassar. Pada tahun 2019 (September 2019) impassing dari Kemeterian Dalam Negeri R.I (Pemerintah Sulawesi Selatan) ke Kementerian Pendidikan Nasional dan Pendidikan Tinggi (LLDIKTI Wilayah IX), dan dipekerjakan di Universitas Atma Jaya Makassar (sampai sekarang).

Selama mengabdikan di Universitas Atma Jaya Makassar, penulis mengampuh beberapa mata kuliah Rekayasa Lalu lintas lanjut, Pelabuhan, Bandar Udara, Rekayasa Jalan Rel, Rekayasa Lingkungan dan Manajemen Lingkungan.

Organisasi profesi : Masyarakat Perkeretaapian Sul Sel (periode 2018-2023).

Prestasi dan Penghargaan : Lulusan Terbaik Universitas Katholik Parahyangan (2005), Mahasiswa Berprestasi Universitas Katholik Parahyangan (2005), Satya Lencana Karya Satya 10 Tahun 2007 dan 2008).

E-mail: mursalimmuddin62@gmail.com

WA : 08124170575



Rosnita Rauf seorang akademisi di Universitas Ekasakti. Ia lahir pada 5 September 1974 dan menempati posisi sebagai anak ke-11 dalam keluarga yang terdiri dari dua belas bersaudara. Sebagai salah satu anak termuda, Rosnita senantiasa berambisi untuk mengimbangi prestasi kakak-kakaknya yang telah menorehkan berbagai keberhasilan.

Setelah menyelesaikan studi sarjananya di Universitas Ekasakti pada September 1997, Rosnita kemudian diberi kepercayaan untuk bergabung sebagai dosen di universitas yang sama. Dalam rangka meningkatkan kompetensinya, ia melanjutkan pendidikan magisternya di Universitas Andalas dengan mengambil spesialisasi Teknik Elektro. Ia berhasil meraih gelar magisternya pada September 2015.

Sebagai dosen, Rosnita tidak hanya berfokus pada pengajaran tetapi juga aktif dalam pelaksanaan Tridharma Perguruan Tinggi. Ia terlibat dalam berbagai penelitian dan pengabdian masyarakat, khususnya di bidang energi. Salah satu kegiatan yang menjadi fokusnya adalah transformasi energi primer menjadi energi alternatif.

Energi Indonesia

Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi

Buku ini, "Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi", ditulis dengan tujuan untuk menyajikan informasi terintegrasi yang meliputi berbagai aspek terkait energi di Indonesia. Dengan mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu teknik, lingkungan, ekonomi buku ini mencoba memberikan gambaran yang komprehensif tentang tantangan dan peluang yang ada. Selain membahas masalah dan tantangan yang dihadapi, buku ini juga mengidentifikasi dan membahas langkah-langkah praktis dan strategis yang dapat diambil oleh pemerintah, industri, dan masyarakat untuk mencapai kemandirian energi yang berkelanjutan.

Pembahasan dalam buku ini meliputi :

Bab 1 Pendahuluan

Bab 2 Profil Energi Di Indonesia

Bab 3 Masalah Energi Di Indonesia

Bab 4 Potensi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Bab 5 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Di Indonesia

Bab 6 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Matahari (PLTS) Di Indonesia

Bab 7 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Di Indonesia

Bab 8 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Di Indonesia

Bab 9 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Di Indonesia

Bab 10 Kebijakan Dan Strategi Pengembangan Energi Di Indonesia

Bab 11 Investasi Dan Kemitraan Dalam Pengembangan Pembangkit Listrik

Bab 12 Masa Depan Energi Indonesia



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

